

Die Aussagekraft verschiedener Techniken der
optokinetischen Reizung bei Normalpersonen
und Patienten mit zentralen und peripheren
vestibulären Störungen

Rita Straub

—

1981
—

Dissertations- und Fotodruck ANNELIESE SCHUBERT
Corneliusstraße 21 · 8000 München 5 · Telefon 2014774

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-
und Ohrenkranke der Universität München

Direktor: Prof. Dr. Hans Heinz Naumann

Die Aussagekraft verschiedener Techniken der
optokinetischen Reizung bei Normalpersonen
und Patienten mit zentralen und peripheren
vestibulären Störungen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Rita Straub

aus

Freising

Jahr

1981

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Hans Scherer
Mitberichterstatter: Prof. Dr. Hans Heinz Naumann
Dekan: Prof. Dr. Wolfgang Spann
Tag der mündlichen Prüfung: 17.12.1981



GLIEDERUNG

A. Einleitung	S. 4
I. Anatomie und Physiologie des zentralen Gleichgewichtssystems	S. 4
II. Übersicht über die wichtigsten Gleichgewichtsprüfungen	S. 6
III. Anatomische und physiologische Grundlagen der optokinetischen Reaktion	S. 6
a) Der optokinetische Reflexbogen	S. 6
b) Die Bedeutung der zentralen und peripheren Retina für die Nystagmusqualität	S. 8
IV. Methodik der optokinetischen Untersuchung	S. 10
a) Untersuchungsarten	S. 10
1. Pendeltest	S. 11
2. Gleichförmige optokinetische Reizung ...	S. 11
3. Ungleichförmige optokinetische Reizung .	S. 12
b) Variable Parameter der Untersuchung	S. 13
1. Streifenanzahl und Streifenbreite	S. 13
2. Reizfrequenz und Reizgeschwindigkeit ...	S. 14
3. Untersuchungsmodelle	S. 14
c) Parameter der Untersuchungsauswertung	S. 15
V. Optokinétischer Nystagmus bei vestibulären und zerebralen Läsionen	S. 16
a) Labyrinth	S. 20
b) Kleinhirnbrückenwinkel	S. 20
c) Kleinhirn	S. 20
d) Großhirn	S. 21
e) Hirnstamm	S. 21
VI. Ziel der vorliegenden Untersuchung	S. 22
B. Experimenteller Teil	S. 24
I. Versuchsaufbau	S. 24
a) Technische Anordnung	S. 24

b) Patientenkollektiv	S. 26
c) Untersuchungsplan	S. 28
d) Instruktion der Probanden	S. 29
II. Auswertung	S. 29
a) Methodik der Auswertung	S. 29
b) Reihenfolge der Auswertung	S. 32
III. Ergebnisse	S. 34
a) Vergleich der Gruppen bezüglich des Kurvenverlaufs	S. 34
b) Prüfung der Signifikanz zwischen den Gruppen	S. 36
c) Analyse der Seitendifferenzen	S. 39
d) Korrelation zwischen Reizstärke und Reizantwort	S. 43
C. Diskussion	S. 49
I. Erläuterung der Ergebnisse	S. 49
a) Problematik des optokinetischen Nach- nystagmus	S. 49
b) Optokinetischer Nystagmus bei gleich- förmiger Reizung	S. 50
c) Optokinetischer Nystagmus bei beschleu- nigter Reizung	S. 51
II. Faktoren, welche die Untersuchung beein- flussen	S. 52
a) Wachheit und Aufmerksamkeit	S. 52
b) Lebensalter	S. 54
c) Optokinetische Habituation	S. 55
III. Bedeutung der optokinetischen Gleichgewichts- prüfung für die Diagnose zentraler und peri- pherer vestibulärer Störungen	S. 57
a) Aussagekraft der einzelnen Untersuchungs- gänge	S. 57
1. Gleichförmige Reizung mit 20°/sec	S. 57

2. Gleichförmige Reizung mit $40^{\circ}/\text{sec}$	S. 57
3. Gleichförmige Reizung mit $60^{\circ}/\text{sec}$	S. 57
4. Beschleunigte Reizung mit $1,2^{\circ}/\text{sec}^2$ bis $40^{\circ}/\text{sec}$	S. 58
b) Allgemeine Vor- und Nachteile der opto- kinetischen Prüfung	S. 59
1. Vorteile	S. 59
2. Nachteile	S. 59
c) Tendenzen zur Weiterentwicklung der opto- kinetischen Prüfung	S. 60
1. Beantwortung ungelöster Probleme	S. 60
2. Erstellung eines Untersuchungsmodells mit höchster Aussagekraft	S. 60
D. Zusammenfassung	S. 62
E. Schrifttum	S. 64

A. Einleitung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Problem der Erkennbarkeit zentraler Gleichgewichtsstörungen mit Hilfe einer optokinetischen Untersuchung. Der rezeptive Teil des Gleichgewichtssystems setzt sich zusammen aus der Summe afferenter Meldungen verschiedener Sinnesorgane. Beteiligt sind das Auge (optische Afferenz), Muskel- und Sehnenrezeptoren (Oberflächen- und Tiefensensibilität) und die Gleichgewichtsorgane im Innenohr.

Um vestibuläre Störungen aufzudecken, wurden in den letzten Jahren zahlreiche Untersuchungsmethoden entwickelt, mit deren Hilfe jede der genannten Afferenzen einschließlich zentraler Verarbeitungsstationen auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft werden kann. Vor der Erläuterung der gebräuchlichsten Untersuchungsmethoden ist es unumgänglich, in kurzen Zügen auf die Anatomie und Physiologie des zentralen Gleichgewichts- und optokinetischen Systems einzugehen.

I. Anatomie und Physiologie des zentralen Gleichgewichtssystems

Die im peripher liegenden Vestibularorgan durch Dreh- oder geradlinige Beschleunigungen generierten Aktionspotentiale werden über den 8. Hirnnerven (N. vestibulocochlearis) zum Stammhirn geleitet. Das erste Neuron der Vestibularisbahn reicht peripher vom Ganglion vestibulare zu den Sinneszellen, im zentralen Verlauf endet es in den drei Vestibulariskernen der Rautengrube. Von hier aus strebt das zweite Neuron in verschiedene Richtungen (Abb. 1, aus BOENNINGHAUS³). Ein Teil der Fasern zieht gekreuzt oder ungekreuzt zum hinteren Längsbündel und den Augenmuskelkernen,

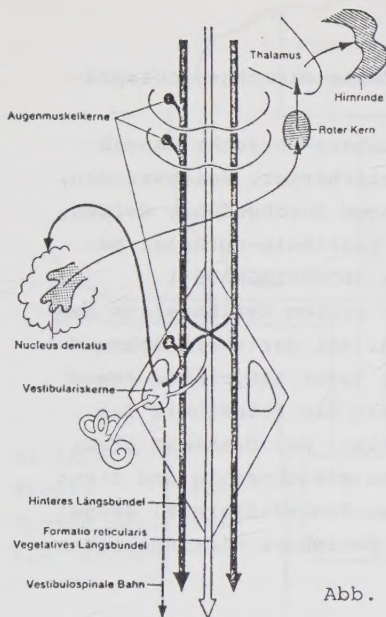


Abb. 1

ein anderer Teil zur Formatio reticularis und den vegetativen Zentren, ferner existiert eine Verbindung zum Kleinhirn und zur Kleinhirnrinde, ein Teil der über den Nucleus dentatus des Kleinhirns verlaufenden Fasern erreicht über den Nucleus ruber und den lateralen Thalamuskern bestimmte sensorische Rindengebiete, schließlich trägt ein Teil als vestibulospinale Bahn zur Regulation des Muskeltonus, besonders der Strecker, bei.

KORNHUBER²⁶ unterscheidet zwei corticale Vestibularisprojektionen; als primäres Projektionsfeld ist beim Menschen wahrscheinlich Area 2 der Postzentralwindung zu nennen, die beim Affen bereits verifiziert wurde. Die bilaterale Projektion beider Vestibularorgane scheint einen wesentlichen Beitrag zur räumlichen Orientierung zu leisten. Als Ort der zweiten Vestibularisprojektion wird ein präzentrales motorisches Rindenfeld vermutet, wo man aufgrund von Versuchen mit Katzen eine Integration vestibulärer Meldungen lokalisierte.

II. Übersicht über die wichtigsten Gleichgewichtsprüfungen

Es gibt eine Anzahl verschiedener Gleichgewichtsprüfungen.

Mit Abweichreaktionen, wie Romberg-Versuch, Gangabweichung, Tretversuch nach Unterberger, Zeigerversuch, die alle bei geschlossenen Augen durchgeführt werden, überprüft man die Intaktheit vestibulo-spinaler Reflexe, d.h. des Gesamtsystems (BOENNINGHAUS³).

Experimentelle Untersuchungen prüfen Teilbereiche des Systems und deren Reflexbögen. Bei der thermischen Prüfung wird die Erregbarkeit jedes Labyrinths einzeln untersucht. Damit kann man die Intaktheit des Gleichgewichtsorgans feststellen. Der Drehtest prüft dagegen beide Vestibularorgane gleichzeitig und dient der Aufdeckung einer zentralen Tonusdifferenz. Beide Prüfungen erregen primär das periphere Gleichgewichtsorgan.

III. Anatomische und physiologische Grundlagen der optokinetischen Reaktion

a) Der optokinetische Reflexbogen

Die zur vorliegenden Untersuchung verwendete optokinetische Prüfung läuft hingegen über einen völlig anderen Reflexbogen ab. Es wird nicht unmittelbar das periphere Gleichgewichtsorgan gereizt, sondern die über die optische Afferenz verlaufende zentrale Interaktion der beteiligten Nervenfasersysteme geprüft. Nach KORNHUBER²⁶ läßt sich die optokinetische Reflexbahn in folgende Stationen einteilen (Abb. 2): Von der Retina werden optokinetische Reize über das Corpus geniculatum late-

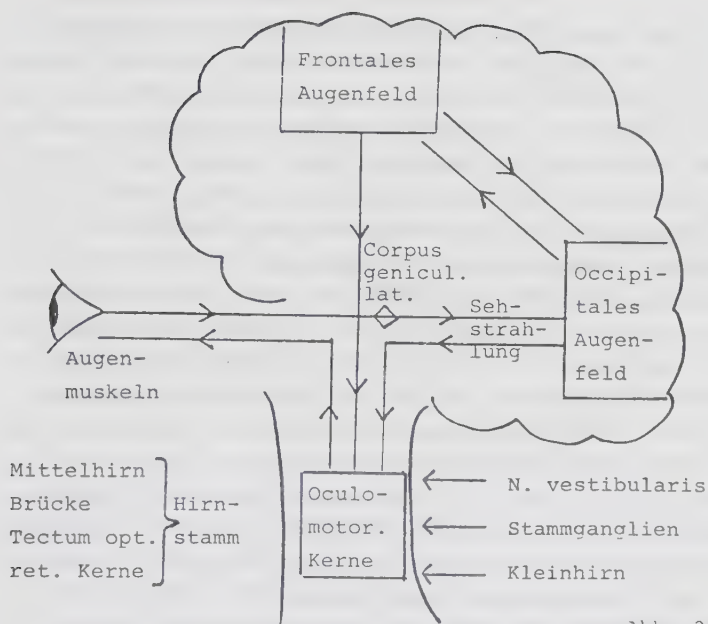


Abb. 2

rale und die Gratiolet'sche Sehstrahlung zunächst zum primären Sehzentrum, der Area 17 des Occipitallappens, fortgeleitet. Über corticofugale optisch-motorische Bahnen erreichen die Impulse teils direkt, teils indirekt über die Areae 18 und 19, sowohl ipsilateral als auch contralateral, den Hirnstamm. Diese Bahnen verlaufen durch die innere Lage der Sehstrahlung und durch den hinteren Teil der Capsula interna zum Mittelhirn, zur Brücke, zum Tectum opticum und zu den retikulären Kernen der Prätektalregion und der Mittelhirn- und Brückenhaube. Dieses Kerngebiet bildet die subcorticalen Blickzentren, da hier die Integration mit

den vestibulären Meldungen, den Blickimpulsen von anderen corticalen Feldern, den Afferenzen aus den Stammganglien und dem Kleinhirn erfolgt. Zusätzlich zum occipitalen Augenfeld ist auch ein frontales Augenfeld eingeschaltet. Es ist weitgehend auf Area 8 begrenzt, deren genaue Funktion noch unklar ist, aber allgemein für das "willkürliche" Blicken verantwortlich gemacht wird. Dafür sprechen auch die Beobachtungen von DIX und HOOD¹¹, wonach bei Läsionen dieses Rindengebietes die schnelle Komponente des optokinetischen Nystagmus beeinträchtigt ist; diese kann im Gegensatz zur langsamen Folgebewegung bei ruhender Umwelt auch willkürlich ausgeführt werden (KORNHUBER²⁶). Zu den occipitalen Augenfeldern zählen in erster Linie die Areae 17, 18 und 19, deren motorische Funktionen neben den sensorischen und gnostischen größtenteils bekannt sind. Sie regeln wesentlich die visuelle Fixation und Fusion sowie Einstell- und Folgebewegungen der Augen. DIX und HOOD¹¹ stellten bei Patienten mit dort lokalisierten Läsionen eine Verminderung des optokinetischen Nystagmus zur Gegenseite fest, wobei eindeutig die langsame Komponente betroffen war.

b) Die Bedeutung der zentralen und peripheren Retina für die Nystagmusqualität

HOOD²¹ untersuchte den optokinetischen Nystagmus bei Normalpersonen und bei Patienten mit Zentralskotom. Während die Normalpersonen einen fovealen Nystagmus mit geringer Geschwindigkeit der langsamen Phase zeigten, trat bei den Patienten mit Zentralskotom, bei denen also nur die periphere Retina dem optokinetischen Reiz ausgesetzt war, ein reflexartiger Nystagmus mit hoher Geschwindigkeit der langsamen Phase auf. Die periphere Retina besitzt eine niedrige Schärfe und rasche Lokaladaptation für ruhende Reize, ist aber empfindlich

für Bewegung und Änderung der Helligkeit (KORNHUBER²⁶). Sie untersteht dem Einfluß durch das occipitale Sehzentrum. Die bei Reizung der Fovea centralis auftretende langsame Nystagmusgeschwindigkeit wird durch die Verbindung zu den frontalen Augenfeldern erklärt, welche eher für die willkürliche Blickregelung verantwortlich zu sein scheinen. In einer späteren Beobachtungsreihe ebenfalls an Normalpersonen und Patienten mit Zentralskotom fand HOOD²² wiederum eine stark erhöhte Nystagmusgeschwindigkeit bei den Skotompatienten im Vergleich zur maximalen Folgegeschwindigkeit von 40 - 60°/sec bei den Normalpersonen. Eine isolierte foveale Reizung, erzeugt durch eine Ausschaltung des peripheren Gesichtsfeldes mittels verschieden langer Röhren, hatte ihrerseits eine merkliche Verlangsamung des optokinetischen Nystagmus zur Folge.

Anhand dieser Ergebnisse lassen sich die von HONRUBIA, DOWNEY, MITCHELL und WARD¹⁸ gefundenen Phänomene erklären. In ihren Untersuchungen hatte sich gezeigt, daß die Instruktion der Probanden von wesentlicher Bedeutung für die Qualität der Nystagmuskurven war. Die Gruppe mit der Anweisung, "den Streifen des Reizmusters nachzuschauen", bot mit wachsender Reizgeschwindigkeit (bis 60°/sec) eine lineare Zunahme der Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase; die Gruppe mit der Anweisung, "nur geradeaus zu starren", erreichte unter sonst gleichen Bedingungen jedoch nur eine maximale Nystagmusgeschwindigkeit von 40°/sec. Bei niedriger Reizgeschwindigkeit verhielt sich die Geschwindigkeit der langsamen Phase in beiden Gruppen gleich. Unter Beachtung der von HOOD^{21,22} erläuterten Befunde (s. oben) wird verständlich, daß die Instruktion, geradeaus zu starren, willkürliches foveales Sehen provoziert und zudem die periphere Wahrnehmung weitgehend supprimiert. Läßt der Proband jedoch seine Augen von den Streifen gleichsam führen, geschieht

dies aufgrund reflexartiger, unwillkürlicher Vorgänge, wobei die schnelle Rückbewegung der Augen von den jeweils in das periphere Gesichtsfeld tretenden Streifen induziert wird.

In Übereinstimmung damit berichten KITAHARA und FUTAKI²⁵, daß fovealer Nystagmus in der Regel bei Reizgeschwindigkeiten bis zu $60^\circ/\text{sec}$ und Reizfrequenzen bis zu $2/\text{sec}$ auftritt, während retinaler Nystagmus insbesondere bei Reizgeschwindigkeiten über $60^\circ/\text{sec}$ beobachtet wird. GRESTY und HALMAGYI¹⁴ untersuchten Folgebewegungen der Augen bei Patienten mit Zentralskotom und Probanden mit artifiziell durch Photoblitz hervorgerufenem Skotom; in allen Fällen zeigten sich gute Folgung und starker Nystagmus.

Die Bedeutung der peripheren Retina für die exozentrische Bewegungswahrnehmung und Raumorientiertheit beschreiben BRANDT, DICHGANS und KOENIG⁶. Das vermeintliche Gefühl der sich drehenden Umwelt scheint vorwiegend durch Einflüsse auf die periphere Retina hervorgerufen zu werden, während die egozentrische Bewegungswahrnehmung durch optokinetische Reizung zentraler Netzhautanteile bis zu einem Durchmesser von etwa 30° bedingt ist.

IV. Methodik der optokinetischen Untersuchung

a) Untersuchungsarten

Der optokinetische Nystagmus kann mit Hilfe mehrerer Untersuchungsmethoden ausgelöst werden. Hierbei unterscheidet man zwei grundlegende Reizmechanismen, die foveale und die retinale Reizung, welche nach der obigen Ausführung deutlich verschiedene Antwortkurven erzeugen.

1. Pendeltest

Ein typisches Beispiel für eine foveale Reizung ist der Pendeltest; hier wird nur die glatte Folgebewegung geprüft, indem die Probanden ein sinusförmig schwingendes Pendel verfolgen. Insbesondere bei Hirnstammläsionen konnten JONGKEES und OOSTERVELD²⁴ eine starke Beeinträchtigung des Pendeltests in Form von Sakkadierungen feststellen.

2. Gleichförmige optokinetische Reizung

Die optokinetische Untersuchung mit der Streifentrommel kann sowohl als vorwiegend foveale wie auch als vorwiegend retinale Reizung durchgeführt werden. Entscheidend für die jeweilige Reizart sind zwei Faktoren: der Gesichtswinkel und die Größe des Reizmusterfeldes. MIYOSHI und PFALTZ^{30,31} beschrieben den Einfluß des Gesichtswinkels auf die Reizantwort. Bei einem Gesichtswinkel von 180° wird vor allem eine retinale Reizung erzeugt; die Probanden konnten der gleichförmigen Reizgeschwindigkeit von $60^\circ/\text{sec}$ mühelos folgen. Im Gegensatz dazu lag bei einem Gesichtswinkel von $20^\circ/\text{sec}$, also bei vornehmlich fovealer Reizung, die Höchstgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase bei $45^\circ/\text{sec}$; zudem traten Unregelmäßigkeiten der einzelnen Nystagmusschläge auf.

DICHGANS, KOLB und WOLPERT¹⁰ untersuchten den optokinetischen Nystagmus mit zwei Reizfeldgrößen bei Patienten mit Läsionen der Großhirnhemisphären oder des Hirnstamms. Bei kleinem Reizmusterfeld ($30 \times 20^\circ$), welches wiederum einer mehr fovealen Reizung entspricht, traten pathologische Seitendifferenzen deutlicher hervor im Vergleich zur Untersuchung mit großflächigem Bewegungsreiz ($140 \times 100^\circ$). Als besonders geeignet wird die Einschränkung

der Reizfeldbreite für das Erkennen leichter pathologischer Seitendifferenzen oder für Verlaufsuntersuchungen empfohlen.

Unter diesen Gesichtspunkten wird verständlich, daß die Instruktion der Probanden bei der Durchführung der optokinetischen Untersuchung mit großem Reizmusterfeld bzw. großem Gesichtswinkel eine entscheidende Bedeutung gewinnt. "Geradeaus starren" bewirkt eine vorwiegend foveale Reizung, "den Streifen nachschauen" ruft in erster Linie eine retinale Reizung hervor (vgl. HONRUBIA, DOWNEY, MITCHELL und WARD¹⁸).

3. Ungleichförmige optokinetische Reizung

SUZUKI und KOMATSUZAKI³⁷ beschrieben erstmals den mit einer linearen Drehbeschleunigung durchgeführten "optokinetic pattern test". Die Streifentrommel wurde nach der Reizmusterskizze (Abb. 3) im Uhrzeiger- und Gegen- uhrzeigersinn jeweils bis zu einer bestimmten Maximalgeschwindigkeit beschleunigt.

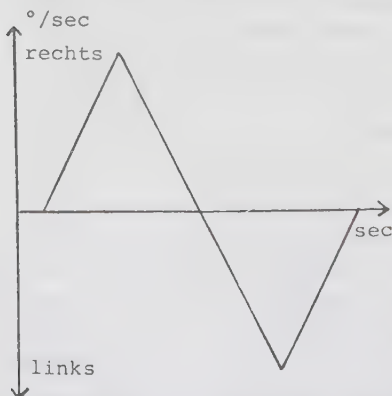


Abb. 3

Reizmusterskizze des SUZUKI - Tests. Das optokinetische Streifenmuster wird geradlinig beschleunigt bis zu einem maximalen Punkt. Nach der Entschleunigung und dem Nulldurchgang erfolgen Beschleunigung und Entschleunigung in Gegenrichtung.

Die von SUZUKI verwendete Trommel maß im Durchmesser 1,8 m und in der Höhe 1,2 m, sie war markiert mit 12 schwarzen Streifen von 3 cm Breite in gleichen Abständen.

den. Die Winkelbeschleunigung betrug $4^{\circ}/\text{sec}^2$, als Maximalgeschwindigkeit wurden $100^{\circ}/\text{sec}$ erreicht.

Eine Variante dieser Untersuchung wurde von TOKITA, SUZUKI und HIBI³⁹ angegeben. Hier maß die Trommel 2 m im Durchmesser und 2 m in der Höhe, die Breite der 12 schwarzen Streifen war 5 cm. Die Trommel drehte sich mit einer Beschleunigung von $2^{\circ}/\text{sec}^2$ bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von $180^{\circ}/\text{sec}$.

b) Variable Parameter der Untersuchung

1. Streifenanzahl und Streifenbreite

Als optokinetisches Reizmuster hat sich in den letzten Jahren nahezu einheitlich die von Tönnies entworfene Streifentrommel durchgesetzt; zuvor waren zahlreiche andere scharf konturierte Strukturen, wie Kreise oder Karos, versucht worden. Allerdings zeigte sich, daß sowohl Anzahl wie Breite der Streifen das Ausmaß der optokinetischen Antwort unterschiedlich beeinflussen.

In den Versuchen von MIYOSHI und PFALTZ²⁹ erreichte die Geschwindigkeit der langsamen Phase bei niedriger Streifenanzahl (4) linear mit zunehmender Reizgeschwindigkeit eine Höchstgeschwindigkeit von $120^{\circ}/\text{sec}$. Bei Verwendung einer größeren Streifenanzahl (8, 12, 16, 32) konnte jedoch die Geschwindigkeit der langsamen Phase der vorgegebenen Reizgeschwindigkeit nur bis zu einem bestimmten Wert folgen und nahm dann wieder ab. Desgleichen verhielt sich die Nystagmusfrequenz bei niedriger (unter $60^{\circ}/\text{sec}$) bzw. hoher (über $60^{\circ}/\text{sec}$) Reizgeschwindigkeit.

In bezug auf die Streifenbreite zeigte sich, daß bei niedriger Reizgeschwindigkeit ($30^{\circ}/\text{sec}$) breite wie schmale Streifen jeweils einen Stimulus bildeten, während bei hoher Reizgeschwindigkeit ($90^{\circ}/\text{sec}$) beide Ränder der breiten Streifen als je ein Stimulus wirkten.

2. Reizfrequenz und Reizgeschwindigkeit

Die Bedeutung von Reizfrequenz und Reizgeschwindigkeit haben HOLM-JENSEN und PEITERSEN¹⁷ untersucht. Ein kontinuierlicher optokinetischer Nystagmus ergibt sich bei umgekehrtem Verhältnis von Reizfrequenz und Reizgeschwindigkeit; als ideale Kombination werden $20^\circ/\text{sec}$ und 2 Hz, entsprechend 36 Streifen/ 360° , genannt.

DICHGANS und JUNG⁹ fanden eine adäquate Folgung des optokinetischen Nystagmus bei gleichförmiger Reizung bis zu Reizgeschwindigkeiten von $50 - 90^\circ/\text{sec}$, allerdings nur für kurze Zeit und bei großer Aufmerksamkeit.

SCHERER und MANG³⁴ prüften das Folgeverhalten bei der optokinetischen Untersuchung mit Reizbeschleunigung (modifiziert nach SUZUKI), die mit zwei verschiedenen Beschleunigungen ($1,2^\circ/\text{sec}^2$, $2,0^\circ/\text{sec}^2$) und drei verschiedenen Höchstgeschwindigkeiten durchgeführt wurde (40 , 60 und $80^\circ/\text{sec}$). Bei allen Untersuchungsgängen lag die durchschnittliche maximal erreichte Geschwindigkeit der langsamen Phase bei $40^\circ/\text{sec}$.

3. Untersuchungsmodelle

Unter Beachtung der genannten Faktoren bietet sich ein breiter Spielraum für die Durchführung der optokinetischen Untersuchung. Deren wesentliche Merkmale charakterisiert KORNHUBER²⁶: am besten eignete sich ein Schwarz-Weiß-Muster mit zahlreichen scharfen Kontrasten, wobei das Schwarz-Weiß-Verhältnis etwa 1:1 betragen sollte. Als ideale Reizgeschwindigkeit bei gleichförmiger Reizung empfiehlt er $60^\circ/\text{sec}$, in weiteren Grenzen $40 - 150^\circ/\text{sec}$. Ein Beispiel für eine ähnliche Versuchsanordnung beschreibt COATS⁷. Er verwendet schwarze Streifen mit einer Breite von $3/8$ Bogensekunden, dazwischen weiße Streifen von $1 \frac{1}{4}$ Bogensekunden Breite. Die drei Reizgeschwin-

digkeiten von 3, 10 und 28°/sec liegen allerdings weit unter den von KORNHUBER empfohlenen.

Die optokinetische Untersuchung mit Reizbeschleunigung wird mittlerweile in vielen Kliniken durchgeführt, jedoch gibt es noch keine einheitliche Methode. Bezüglich der ursprünglich von SUZUKI und KOMATSUZAKI bzw. TOKITA, SUZUKI und HIBI beschriebenen Modelle wird auf die Ausführungen auf S. 12 f. verwiesen.

SCHERER und MANG³⁴ empfehlen beim modifizierten SUZUKI-Test als maximale Reizgeschwindigkeit 40°/sec (vgl. S. 14), da die durchschnittliche Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase bei allen drei maximalen Reizgeschwindigkeiten (40, 60 und 80°/sec) nur 40°/sec betrug. Dies soll physiologische Reizverhältnisse gewährleisten und einem Informationsverlust bei zu hoch angesetzter Maximalgeschwindigkeit begegnen. Bei Verwendung verschiedener Winkelbeschleunigungen ergab sich kein signifikanter Unterschied in der Reizantwort, daher wurde die allgemein als angenehm empfundene Beschleunigung von 1,2°/sec² beibehalten.

c) Parameter der Untersuchungsauswertung

Die Auswertung der Nystagmuskurven kann in mehrfacher Hinsicht erfolgen. So gibt es beispielsweise Autoren, die lediglich die Struktur der Nystagmuspzacken zur Auswertung heranziehen (BENITEZ²) oder allein die Symmetrie der optokinetischen Antwort bewerten (SMITH und COGAN³⁵). Ebenso erscheinen Amplitude und Frequenz als Parameter der Antwortkurven (vgl. HONRUBIA, DOWNEY, MITCHELL und WARD¹⁸). Die Frequenzanalyse mittels eines elektronischen Computers wird von MIYOSHI, OHTA, NAKANO und HASHIGUCHI²⁷ beschrieben.

In den letzten Jahren hat sich jedoch vornehmlich die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase als Aus-

wertungsparameter durchgesetzt. Bereits SUZUKI und KOMATSUZAKI³⁷ fanden, daß bei Normalpersonen die Geschwindigkeit der langsamen Phase mit der vorgegebenen Reizgeschwindigkeit bis zu einer bestimmten Höchstgeschwindigkeit nahezu übereinstimmt. Ähnlich verhält sie sich beim vestibulär induzierten Nystagmus proportional zur Endorganstimulierung (TOROK⁴⁰).

HONRUBIA, JENKINS und WARD²⁰ prüften in einer optokinetischen Untersuchungsreihe mit normalen und pathologischen Katzen die Relevanz verschiedener Parameter bezüglich ihrer Aussagekraft. Die Geschwindigkeit der langsamen Phase und die mittlere Nystagmusfrequenz zeigten dabei die größte Abhängigkeit von der Reizstärke. Dasselbe Ergebnis erbrachte die Computeranalyse eines vestibulär induzierten Nystagmus bei rotatorischer Stimulation (HONRUBIA, KATZ, STRELIOFF und WARD¹⁹).

Ermittelt wird die Geschwindigkeit der langsamen Phase durch den Tangens des Steigungswinkels; dies entspricht dem Quotienten aus Amplitude und Nystagmusdauer (Abb. 4).

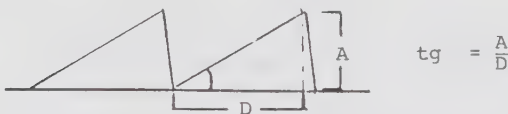


Abb. 4

V. Optokinetischer Nystagmus bei vestibulären und zerebralen Läsionen

Zahlreiche klinische und pathologisch-anatomische Fallstudien trugen dazu bei, die Auswirkungen bestimmter vestibulärer und zerebraler Läsionen auf den optokinetischen Nystagmus darzustellen. Anhand dreier Skizzen des menschlichen Gehirns (aus SOBOTTA-BECHER³⁶) werden die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen den jeweils geschädigten Hirnstrukturen zugeordnet.

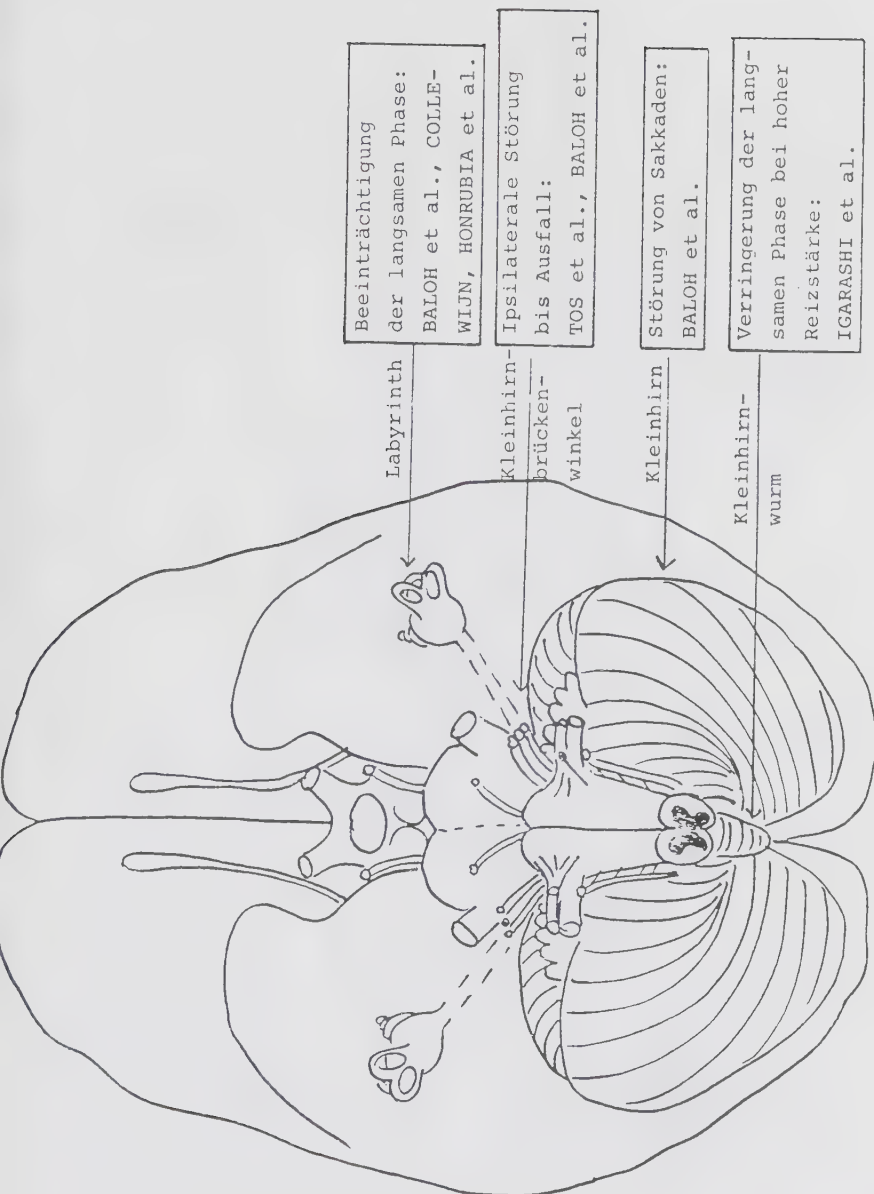


Abb. 5

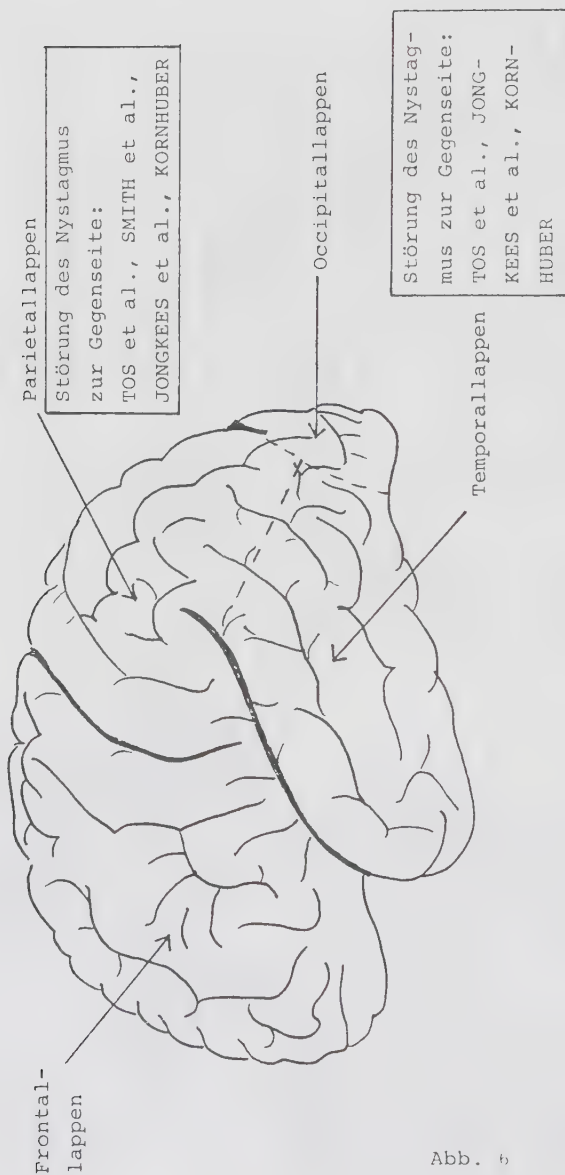


Abb. 6

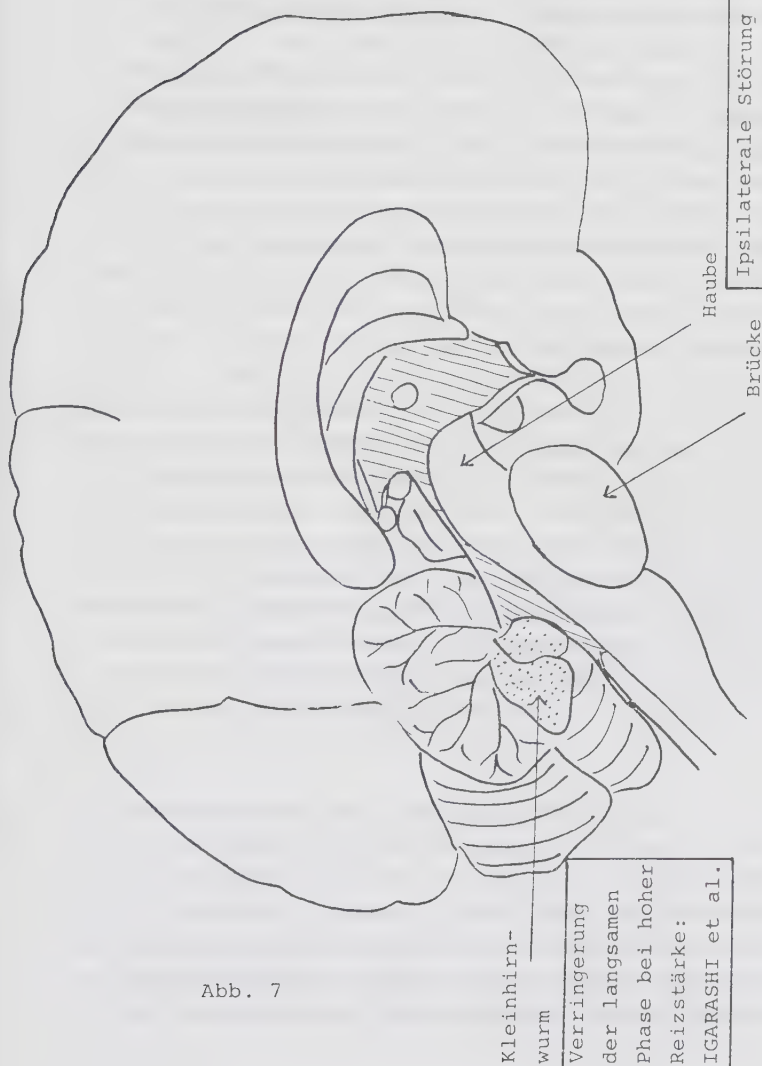


Abb. 7

Kleinhirnwurm

Verringerung
der langsamen
Phase bei hoher
Reizstärke:
IGARASHI et al.

Ipsilaterale Störung des
optokinetischen Nystagmus:
TOS et al., KORNHUBER,
BALOH et al., JONGKEES et al.

a) Labyrinth (Abb. 5)

Bei Patienten mit peripherem Labyrinthschaden fanden BALOH, HONRUBIA und SILLS¹ eine Beeinträchtigung des optokinetischen Nystagmus, vor allem der langsamen Phase.

Sowohl in den Untersuchungen von COLLEWIJN⁸ als auch von HONRUBIA, JENKINS und WARD²⁰ reagierten labyrinthektomierte Kaninchen bzw. Katzen bei niedriger Reizgeschwindigkeit ($1 - 3^\circ/\text{sec}$) noch mit einer normalen Reizantwort; erst bei höherer Reizgeschwindigkeit ($30 - 60^\circ/\text{sec}$) zeigte sich eine starke Verminderung der Geschwindigkeit der langsamen Phase.

b) Kleinhirnbrückenwinkel (Abb. 5)

Von 17 Patienten mit operativ bestätigtem Akustikusneurinom stellten TOS, ROSBERG und ADSE⁴² bei 6 Patienten einen abnormalen optokinetischen Nystagmus fest; vier von ihnen zeigten einen vollständigen ipsilateralen Ausfall. In all diesen Fällen war der Tumor groß oder sehr groß und drückte auf den Hirnstamm. Untersuchungen von BALOH, HONRUBIA und SILLS¹ an Patienten mit Kleinhirnbrückenwinkeltumoren ergaben eine progressive Verschlechterung des optokinetischen Nystagmus.

c) Kleinhirn (Abb. 5 und 7)

Dieselben Untersucher entdeckten auch, daß bei Kleinhirnschäden vor allem die Exaktheit der sakkadischen Augenbewegungen litt.

IGARASHI, MIYATA, KATO, WRIGHT und LEVY²³ berichten, daß die Entfernung des Kleinhirnwurms beim Totenkopffaffen zu einer statistisch signifikanten Verringerung der Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase

bei Reizgeschwindigkeiten über 90°/sec führt.

d) Großhirn (Abb. 6)

Läsionen der hinteren Hemisphäre und des Temporoparietallappens verursachten in den Untersuchungen von TOS, ADSEER und ROSBERG⁴¹ einen einseitig zur Gegenseite verminderten Nystagmus.

SMITH und COGAN³⁵ fanden bei autoptisch gesicherten Parietallappenläsionen einen einseitig zur Gegenseite verminderten optokinetischen Nystagmus, ebenso bei Schädigungen, die das mittlere und hintere Drittel der Seinstrahlung im Parietallappen betrafen. Erkrankungen des Temporal-, Occipital- und Frontallappens waren hingegen von einem normalen optokinetischen Nystagmus begleitet. Allerdings wäre hier zu erwähnen, daß als einziger Parameter dieser Untersuchung offenbar die Symmetrie der optokinetischen Antwort gewählt worden war.

Auch JONGKEES und OOSTERVELD²⁴ berichten bei Hemisphärenläsionen von einer hauptsächlich einseitigen Verminderung des optokinetischen Nystagmus zur Gegenseite.

Eine einseitige Großhirnläsion, im optokinetischen Nystagmus gekennzeichnet durch Blickfolgestörung zur Herdseite und Verminderung der raschen Nystagmusphase zur Gegenseite, kann nach KORNHUBER²⁶ mit Hilfe der optokinetischen Untersuchung mit der gleichen Sicherheit diagnostiziert werden wie durch den Babinski-Reflex.

e) Hirnstamm (Abb. 7)

Das Tentorium scheint eine Trennlinie in bezug auf die Art der optokinetischen Störung zu sein. Bei Läsionen oberhalb des Tentoriums findet sich eine Verminderung des optokinetischen Nystagmus zur Gegenseite, bei Läsionen unterhalb davon eine Verminderung des Nystagmus zur

Seite der Schädigung.

Eine meist ipsilaterale Verminderung des optokinetischen Nystagmus bei infratentoriellen Läsionen beschrieben TOS, ADSEER und ROSBERG⁴¹, während sich bei Läsionen des hohen Hirnstamms und Mesenzephalons in der Regel eine beidseits abnormale Reizantwort zeigte.

Auch KORNHUBER²⁶ berichtet von einer ipsilateralen Verminderung der optokinetischen Antwort bei pontiner Hauläsion.

BALOH, HONRUBIA und SILLS¹ stellten in ihren Untersuchungen fest, daß bei Erkrankungen des Hirnstamms die Höchstgeschwindigkeit der Sakkaden deutlich vermindert war.

Neben dem optokinetischen Test verwendeten JONGKEES und OOSTERVELD²⁴ einen optischen Pendeltest, der sich besonders zur Untersuchung langsamer Folgebewegungen eignet. Für Patienten mit Schädigung des Hirnstamms war es nahezu unmöglich, eine stete Folgung durchzuhalten; ihre Augenbewegungen waren von zahlreichen Sakkaden unterbrochen.

VI. Ziel der vorliegenden Untersuchung

Die vorliegende Untersuchung hatte zur Aufgabe, verschiedene optokinetische Untersuchungsmethoden im Hinblick auf ihre Aussagekraft in der klinischen Praxis zu überprüfen. Die Ergebnisse, die an Normalpersonen gewonnen wurden, dienten der vergleichenden Kontrolle an einem großen Krankengut. Insgesamt wurden 34 Normalpersonen sowie 44 Patienten mit zentraler und 29 Patienten mit peripherer Gleichgewichtsstörung einer gleichförmigen und beschleunigten optokinetischen Reizung unterzogen. Aufbauend auf vorangegangene Untersuchungsreihen wurden die gleichförmigen Reizgeschwindigkeiten 20, 40 und 60°/sec sowie eine Winkelbeschleunigung von 1,2°/sec² mit der Maximalgeschwindigkeit 40°/sec gewählt. Die

Frage war, ob und inwieweit die Patienten mit zentraler und peripherer vestibulärer Störung in ihrem Folgeverhalten von den vorgegebenen Reizgeschwindigkeiten bzw. den bei Normalpersonen gefundenen Durchschnittswerten abwichen. Als Auswertungsparameter wurde die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase herangezogen.

B. Experimenteller Teil

I. Versuchsaufbau

a) Technische Anordnung

Die Versuchsanordnung läßt sich am besten anhand einer Skizze beschreiben (Abb. 8).

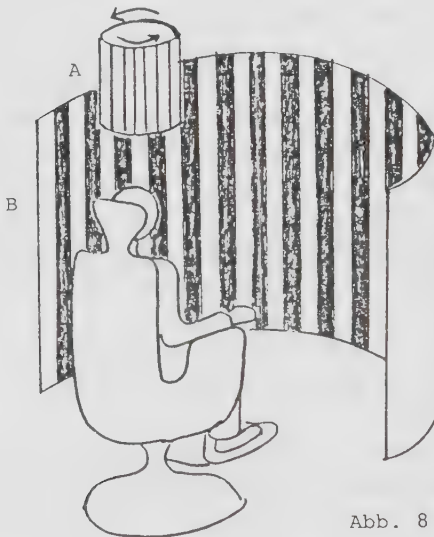


Abb. 8

Als Reizgerät diente eine optokinetische Trommel nach Tönnies (A in Abb. 8), die im Mittelpunkt einer halb-kreisförmigen Wand (B in Abb. 8) aufgehängt war und auf diese 16 cm breite Schattenstreifen warf. Bei jeder vollen Umdrehung erschienen insgesamt 24 schwarze Streifen, die durch ebenso breite weiße Abstände getrennt waren. Unterhalb der Trommel saß die jeweilige Versuchsperson mit Blickrichtung auf die Mitte der Streifenwand; diese

war 1,35 m hoch und 2,30 m breit, ihr Abstand zum Auge des Untersuchten betrug 1,10 m, der volle Gesichtswinkel maß 120°. Drehrichtung und Geschwindigkeit der Streifentrommel wurden über ein Schrittschaltwerk und daran gekoppelte Relais analog automatisch gesteuert. Zwei an den Schläfen des Probanden befestigte Elektroden übermittelten die durch den Reiz erzeugten Augenbewegungen an ein Schreibgerät (Firma Schwarzer), das die einzelnen Nystagmusschläge aufzeichnete. Abbildung 9 zeigt als Beispiel einen Ausschnitt aus der Nystagmuskurve eines Probanden mit Normalbefund.



Abb. 9

Es wurde eine rasche Papiergeschwindigkeit (1 cm/sec) gewählt, um die Berechnung der Geschwindigkeit der langsamen Phase zu erleichtern und um Mikrooszillationen während der langsamen Phase besser darzustellen (vgl. FLUUR¹²). Im ursprünglich von SUZUKI und KOMATSUZAKI³⁷ beschriebenen "optokinetic pattern test" erfolgte die Nystagmusaufzeichnung mit langsamer Papiergeschwindigkeit; dadurch entstand eine typische Konfiguration, von SUZUKI als "optokinetic pattern" bezeichnet (Abb. 10). Letztlich war aber damit eine genauere Analyse der einzelnen Nystagmusparameter nicht möglich.

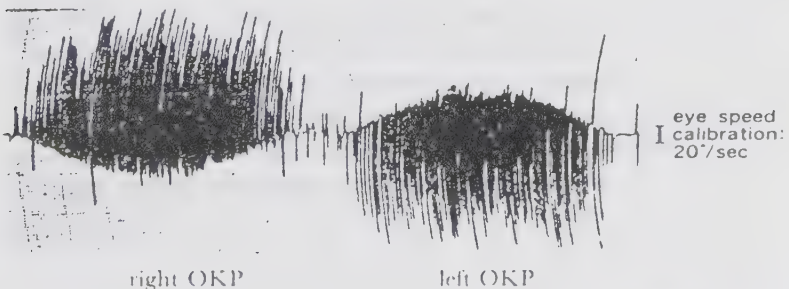


Abb. 10

Sämtliche Geräte, die vom Untersucher während der Durchführung der optokinetischen Prüfung zu bedienen waren, befanden sich außerhalb der eigentlichen Untersuchungskammer. Damit sollte eine möglichst störungsfreie Konzentration des Probanden auf den optokinetischen Reiz gewährleistet sein.

b) Patientenkollektiv

Die Untersuchung wurde an 107 Patienten vorgenommen, die in einem Zeitraum von vier Monaten mit Schwindelbeschwerden, teilweise verbunden mit Seh- oder Hörstörungen, die Ambulanz der Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde der Universität München aufgesucht hatten. Nach Ermittlung der einzelnen Diagnosen erfolgte eine Einteilung in drei Gruppen:

Gruppe Z 44 Patienten, bei denen durch die Gleichgewichtsprüfung und andere klinische Untersuchungen der Verdacht auf eine zentrale Vestibularisstörung geäußert wurde.
Dazu gehörten Durchblutungsstörungen, Halswirbelsäulenschäden, Schädel-Hirn-Traumen und Hirntumoren. Wurde bei einem Patienten gleichzeitig eine periphere vestibuläre Läsion gefunden, dann wurde er keiner der Gruppen zugeordnet.

Gruppe P 29 Patienten, bei denen durch die Gleichgewichtsprüfung und andere klinische Untersuchungen der Verdacht auf eine periphere Vestibularisstörung geäußert wurde.
Dazu gehörten u.a. M. Menière, Hörsturz mit Gleichgewichtsbeteiligung und akuter Labyrinthausfall.

Gruppe N 34 Patienten mit Normalbefund; d.h. sie kamen wegen uncharakteristischer Symptome oder anderer Erkrankungen im Hals-, Nasen-, Ohrenbereich, bei Gleichgewichts- und Hörprüfungen konnte jedoch kein pathologischer Befund erhoben werden.

Über die Gruppenzugehörigkeit wurde erst dann entschieden, wenn alle Untersuchungsbefunde vorlagen. In manchen Fällen wurden Befunde aus anderen Kliniken, z.B. der Neurologie, mit herangezogen. Eine sichere Trennung der Gruppen war naturgemäß nicht möglich.

Die Alters- und Geschlechtsverteilung der Probanden setzte sich folgendermaßen zusammen (Tab. 1):

Alter	N		P		Z		Summe	
	m	w	m	w	m	w	m	w
bis 20 J.	2	-	2	1	1	1	5	2
21 - 40 J.	7	7	5	2	8	6	20	15
41 - 60 J.	11	4	11	7	13	4	35	15
über 60 J.	1	2	-	1	4	7	5	10
Summe	21	13	18	11	26	18	65	42

Tab. 1

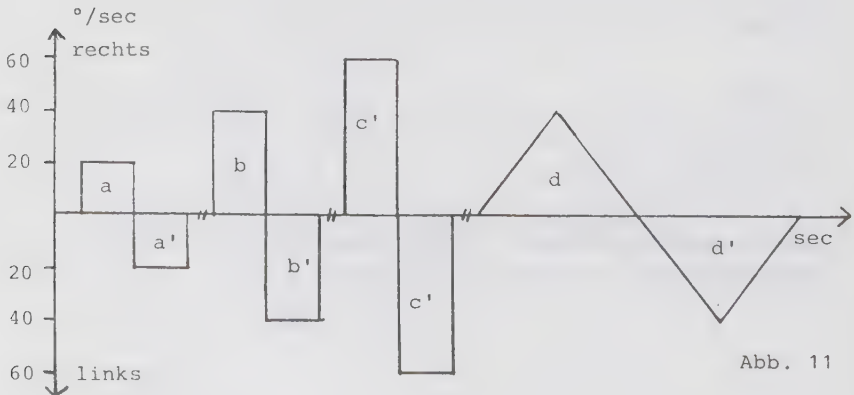
Der älteste Proband war 77 Jahre alt, der jüngste gerade 10 Jahre.

c) Untersuchungsplan

Die optokinetische Untersuchung umfaßte insgesamt vier Durchgänge, die im Abstand von jeweils 2 - 3 Minuten Pause aufeinanderfolgten. Je nach Drehgeschwindigkeit und Drehrichtung der Streifentrommel wurde folgende Einteilung gewählt:

Durchgang a und a'	gleichförmige Geschwindigkeit von $20^{\circ}/\text{sec}$ nach rechts und links
Durchgang b und b'	gleichförmige Geschwindigkeit von $40^{\circ}/\text{sec}$ nach rechts und links
Durchgang c und c'	gleichförmige Geschwindigkeit von $60^{\circ}/\text{sec}$ nach rechts und links
Durchgang d und d'	geradlinige Beschleunigung mit $1,2^{\circ}/\text{sec}^2$ bis zu einer Maximalgeschwindigkeit von $40^{\circ}/\text{sec}$ nach rechts und links

Der Richtungswechsel während jedem der vier Durchgänge wurde stets ohne Unterbrechung vollzogen. Abbildung 11 stellt die Reizkurvenverläufe schematisch dar.



In den Durchgängen mit gleichförmiger Reizgeschwindigkeit, also a, a', b, b', c, c', drehten sich die Streifen in jede Richtung 30 Sekunden, der Durchgang mit Beschleunigung dauerte jeweils 120 Sekunden. Hinzugefügt werden muß, daß die einzelnen Untersuchungsblöcke in unterschiedlicher Reihenfolge angeboten wurden. Nach dem Gesetz der Wahrscheinlichkeit über die Anzahl der möglichen Permutationen ($n!$) ergaben sich 24 verschiedene Kombinationsmöglichkeiten, die der Reihe nach auf die 107 Untersuchungen angewendet wurden.

d) Instruktion der Probanden

Die Probanden erhielten die genaue Anweisung, den Kopf ruhig zu halten, die Augenlider möglichst wenig zu bewegen, geradeaus zu blicken und die vorbeilaufenden schwarzen Streifen einzeln anzuschauen, sie jedoch nicht bis in die Peripherie zu verfolgen. Durch diese Instruktion wurde nach den Erläuterungen über die Bedeutung der zentralen und peripheren Retina für die Nystagmusqualität (S. 8 ff.) hauptsächlich eine foveale Reizung erzeugt.

II. Auswertung

a) Methodik der Auswertung

Die Auswertung des Kurvenmaterials umfaßte mehrere Schritte. Zunächst erfolgte eine rechnerische Analyse der Nystagmuskurven; als Parameter wurde die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase gewählt. Mit Hilfe einer durchsichtigen Groen-Scheibe mit Gradeinteilung (vgl. TOROK⁴⁰) wurden die Steigungswinkel gemessen und einem digitalen Nystagmusanalysator eingegeben, der die Winkelgrade über 5 Sekunden mittelte, in ein Tangensmaß umwandelte und dann als durchschnittliche Geschwindigkeit

der langsamen Phase in $^{\circ}/\text{sec}$ in einem 5 Sekunden-Intervall ausdrückte. Gleichzeitig wurde die Frequenz der Nystagmusschläge registriert.

Das Gerät war außerdem gekoppelt mit einem Kurvenschreiber, der die Integralkurven der Tangenswerte mitzeichnete. Allein durch diese geometrische Darstellung konnte man bereits Störungen der Reizantwort bei einigen Patienten erkennen. Beispiele für Normalbefund und zentrale Gleichgewichtsstörung zeigen die Abbildungen 12 und 13.

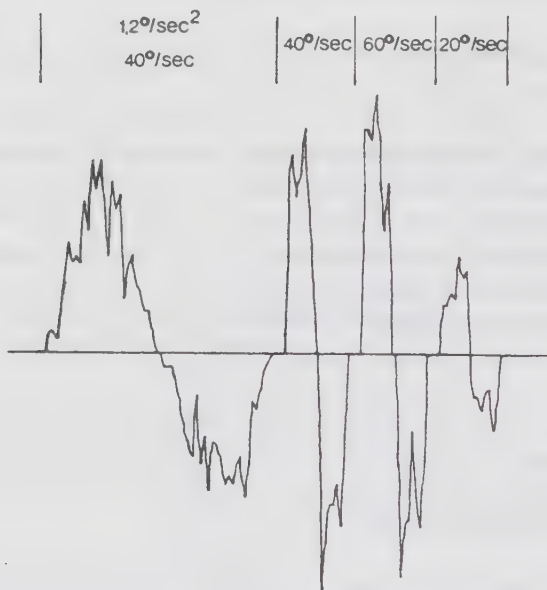


Abb. 12

Ein Vergleich mit der Darstellung der Reizkurven (Abb. 11, S. 28) läßt erkennen, daß die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase beim Normalbefund weitgehend mit der vorgegebenen Reizgeschwindigkeit übereinstimmt.

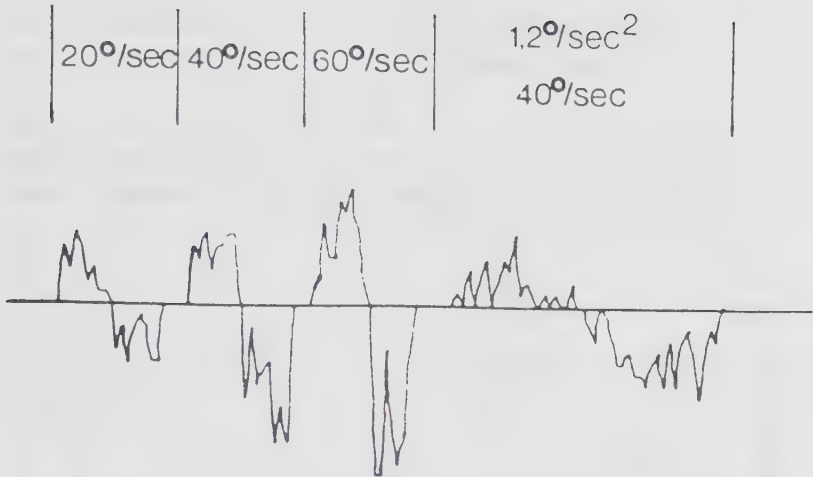


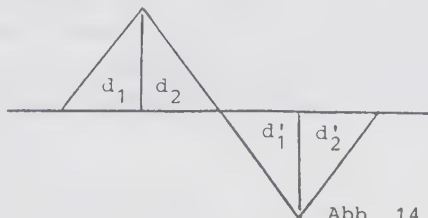
Abb. 13

Bei zentraler Gleichgewichtsstörung ist die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase deutlich vermindert. Der Verlauf der Antwortkurve ist sowohl bei gleichförmiger als auch bei beschleunigter Reizung durch zahlreiche Nystagmusausschläge bzw. -reduzierungen unterbrochen.

Zur Objektivierung des Gesamtergebnisses waren umfangreiche statistische Berechnungen erforderlich. Im folgenden seien der übersichtlichen Darstellung wegen die Buchstaben a , a' , b , b' , c , c' , d , d' für die bereits erwähnten Untersuchungsabschnitte (S. 28) verwendet.

Als neue Bezeichnungen tauchen lediglich auf:

d_1 und d_2 für den auf- und absteigenden Schenkel von d ,
 d'_1 und d'_2 für den auf- und absteigenden Schenkel von d'
(Abb. 14).



b) Reihenfolge der Auswertung

Die statistische Auswertung der Nystagmuskurven gliederte sich in drei Gruppen:

1. Es wurde jeder 5 Sekunden-Wert für sich allein gesehen zur statistischen Verarbeitung herangezogen. Nach Mittelwertbildung innerhalb der drei Patientengruppen ergab sich folgendes Bild (Abb. 15).

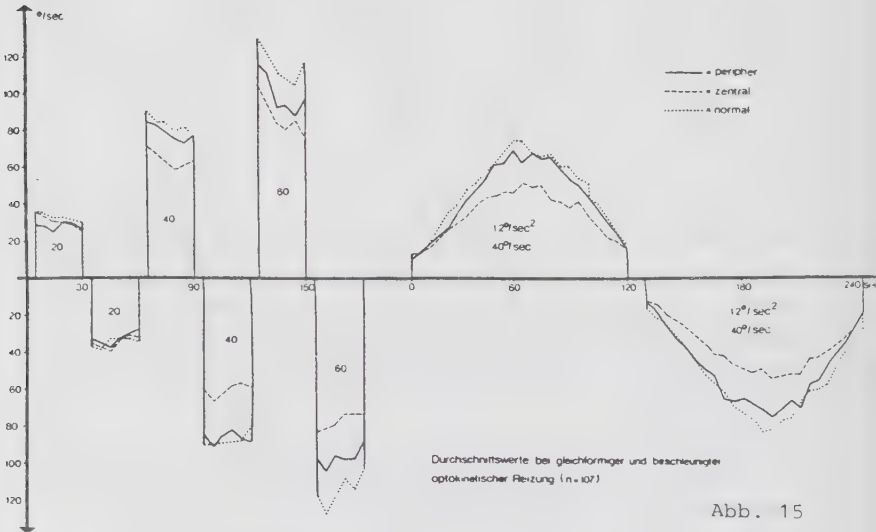


Abb. 15

2. Für jeden Probanden wurden alle 5 Sekunden-Werte einer Reizart gemittelt, sodaß jeweils ein Wert pro Person und Reizart resultierte. Daraus wurden innerhalb jeder Gruppe wieder die Mittelwerte gebildet. Dieses Verfahren ließ sich nur für die drei Durchgänge mit gleichförmiger Reizung anwenden (Abb. 16, linke Hälfte). Bei der Untersuchung mit beschleunigtem Reiz konnte diese Mittelwertbildung nicht erfolgen. Zum

Vergleich sind hier die Durchschnittswerte aus Abbildung 15 übertragen (Abb. 16, rechte Hälfte).

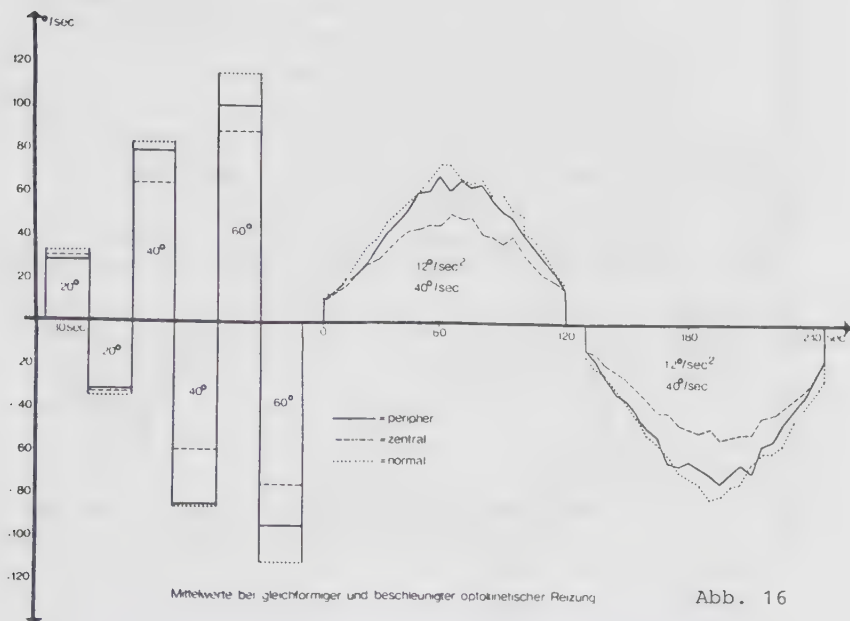


Abb. 16

Eine sinnvolle Auswertung für den Durchgang mit Reizbeschleunigung stellte dagegen die Integralbildung über den einzelnen Kurvenabschnitten (d und d' sowie d_1 , d_2 , d'_1 und d'_2) dar, wiederum pro Person und Reizart durchgeführt und innerhalb jeder Gruppe gemittelt.

3. Es wurde die maximale Geschwindigkeit der langsamen Phase pro Person und Reizart bestimmt. Die Mittelung dieser maximalen Werte innerhalb jeder Gruppe ergab folgende Darstellung (Abb. 17).

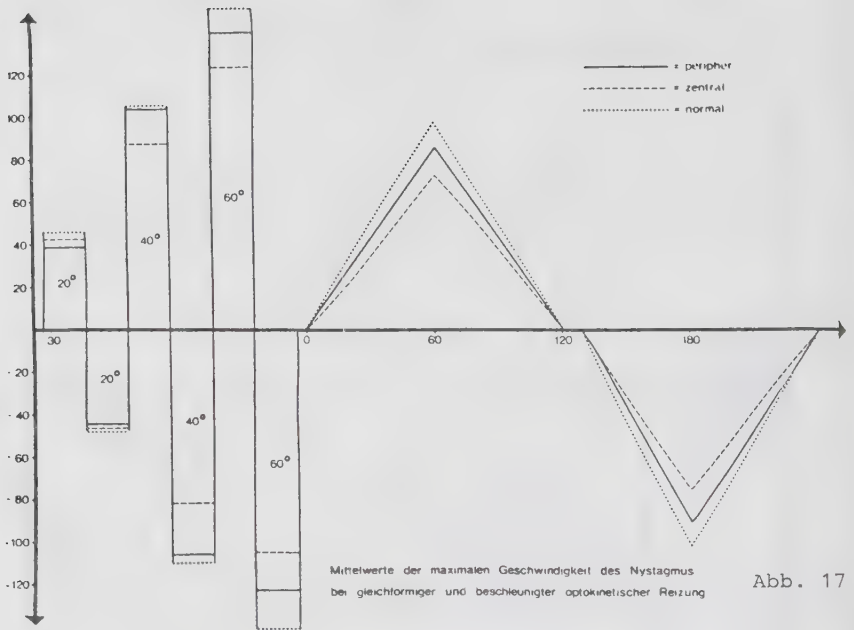


Abb. 17

III. Ergebnisse

a) Vergleich der Gruppen bezüglich des Kurvenverlaufs

Während bei niedriger Reizgeschwindigkeit ($20^\circ/\text{sec}$) kein wesentlicher Unterschied zwischen den Gruppen festzustellen ist, verändert sich das Bild deutlich bei mittlerer ($40^\circ/\text{sec}$) und hoher ($60^\circ/\text{sec}$) Reizgeschwindigkeit. (vgl. Abb. 15 und 16). Die Gruppen weichen zunehmend auseinander, wobei vor allem die Differenz zwischen den Gruppen N und Z ins Auge fällt.

Ein nahezu identisches Ergebnis zeigt sich, wenn man die Mittelwerte der von den Einzelpersonen jeweils erreichten Maximalwerte bildet und miteinander vergleicht (Abb. 17,

linke Hälfte).

Es wird ersichtlich, daß zumindest bei den Gruppen N und P der Rechtsnystagmus (a' und b'), ausgelöst durch Reizdrehung nach links, den Linksnystagmus (a und b) übertrifft. Die Gruppe Z zeigt diese Reaktion nur bei der langsamsten Reizgeschwindigkeit; in den Durchgängen b und c überwiegt jeweils der Linksnystagmus. Im letzteren Fall (c) bleibt auch bei den Gruppen N und P der Rechtsnystagmus hinter dem Linksnystagmus zurück.

Richtet man sein Augenmerk auf den Durchgang d, findet sich eine geringe Abweichung. Hier ist es zwar nicht sinnvoll, Mittelwerte bei den einzelnen Probanden zu errechnen, aber anhand der jeweils bei d und d' erreichten Maximalwerte läßt sich wohl eine Aussage treffen. Bei allen drei Patientengruppen fällt der Rechtsnystagmus stärker aus als der Linksnystagmus (Abb. 17, rechte Hälfte). Obwohl im Durchgang d die gleiche Maximalgeschwindigkeit von $40^{\circ}/\text{sec}$ erreicht wird, wie sie als gleichförmige Reizgeschwindigkeit im Durchgang b gegeben ist, wird in allen drei Gruppen eine vergleichsweise niedrigere Reizantwort erzielt.

Eine genauere Darstellung der Reizantworten wird durch die Bildung der 5 Sekunden-Durchschnittswerte innerhalb jeder Gruppe erzielt (vgl. Abb. 15, S. 32). Die ersten und letzten drei Werte der Kurven d und d' konnten in der Zeichnung vernachlässigt werden, da sie für eine Aussage über die Signifikanz unwesentlich erschienen. Abbildung 15 liefert im Vergleich zu Abbildung 16 bezüglich der Durchgänge a, b, c keine wesentlichen neuen Erkenntnisse. Es ist lediglich daraufhinzuweisen, daß in der ersten Hälfte der einzelnen Durchgänge, d.h. nach Geschwindigkeits- oder Richtungswechsel, die Reizantwort

am stärksten ausfällt. Bemerkenswert ist auch hier, wie sehr sich bereits bei der Geschwindigkeit von $40^{\circ}/\text{sec}$ die Reizantwort der Patienten mit zentraler Gleichgewichtsstörung von derjenigen der beiden anderen Gruppen unterscheidet. Bei der Reizgeschwindigkeit von $60^{\circ}/\text{sec}$ zeichnet sich dagegen eine deutliche Dreigliederung ab.

Die rechte Hälfte der Abbildung 15 zeigt den Verlauf der drei Kurven bei geradliniger Beschleunigung. Auffällig ist, daß sich im Durchgang d (Beschleunigung der optokinetischen Trommel nach rechts) die Kurve Z erst nach etwa einem Viertel der Zeit von den sie bis dahin begleitenden Kurven P und N löst, während sie bei Beschleunigung in die entgegengesetzte Richtung (d') bereits von Anfang an eine deutlich geringere Reizantwort erkennen läßt als die beiden anderen Kurven. Diese ihrerseits verlaufen während der gesamten Reizdauer nahezu parallel, lediglich in Höhe der Maximalgeschwindigkeit bleibt Kurve P hinter der Reizantwort der Kurve N leicht zurück.

b) Prüfung der Signifikanz zwischen den Gruppen

Als statistisches Testverfahren für die Prüfung der Signifikanz fand der t-Test für unverbundene Stichproben Anwendung. Dieser Test erlaubt einen direkten Vergleich zwischen jeweils zwei Gruppen. Da sich die Gruppen N und P in ihrem Kurvenverlauf nur sehr gering voneinander unterscheiden, wurde auf diesen Vergleich verzichtet. Von großem Interesse war die Frage, inwieweit die Gruppen N und Z bzw. P und Z signifikante Unterschiede zeigten.

Auf der Abbildung 18 sind die beiden Kurven N und Z bei gleichförmiger und beschleunigter optokinetischer Reizung dargestellt.

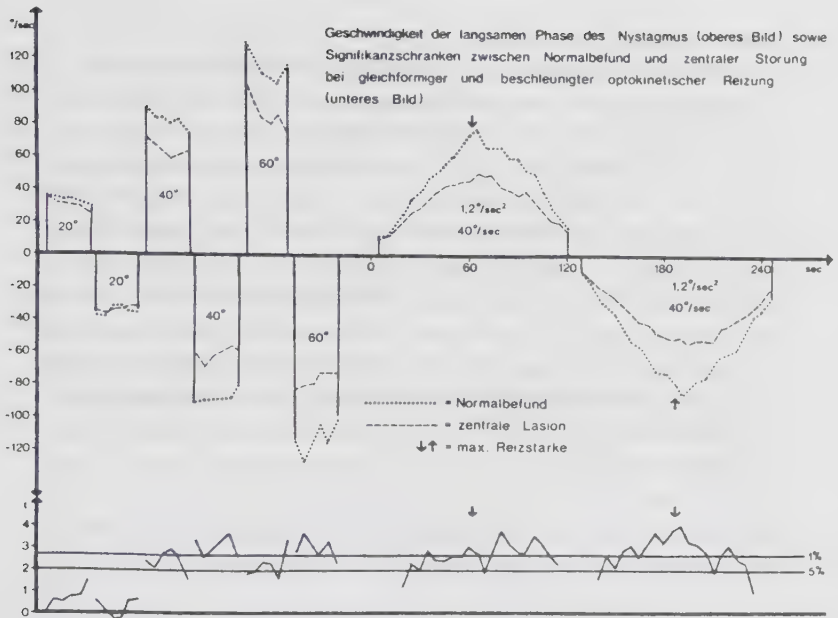


Abb. 18

Im unteren Bildteil ist zu erkennen, wie sich die errechneten t-Werte zu den Signifikanzschranken bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% bzw. 1% verhalten. Bei medizinischen Fragestellungen genügt in der Regel, die Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% als Signifikanzschranke einzusetzen; Werte über der 1% - Grenze gelten dagegen als hochsignifikant.

Wie aus dem Kurvenverlauf zu erwarten, zeigt sich beim ersten Durchgang mit der Reizgeschwindigkeit $20^{\circ}/\text{sec}$ in beiden Richtungen kein signifikanter Unterschied. Die folgenden Untersuchungen weisen jedoch signifikante und sogar hochsignifikante Unterschiede auf. Dabei fällt auf, daß sich die Gruppen N und Z jeweils nach dem Drehrichtungswechsel hochsignifikant unterscheiden.

Ähnliches ist auch im Fall der beschleunigten Reizung festzustellen, wobei hier allerdings noch die Phasen der positiven und negativen Beschleunigung unterschieden werden müssen. Zu Beginn der beschleunigten Rechtsdrehung des optokinetischen Reizes hält sich die Signifikanz weitgehend innerhalb der 5%- und 1%-Schranken. Nach einer kurzen "Mittelsenke" schnellte sie jedoch auf hochsignifikante Werte empor, obwohl die Reizgeschwindigkeit in dieser Phase kontinuierlich abnimmt. Bei der Beschleunigung in die Gegenrichtung nimmt der Unterschied bereits im aufsteigenden Teil der Kurve hochsignifikante Werte an, die kurz nach der maximalen Reizgeschwindigkeit ihren Höhepunkt erreichen, um dann umso schneller abzufallen.

Abbildung 19 zeigt den Vergleich zwischen den Gruppen mit peripherer und zentraler Störung.

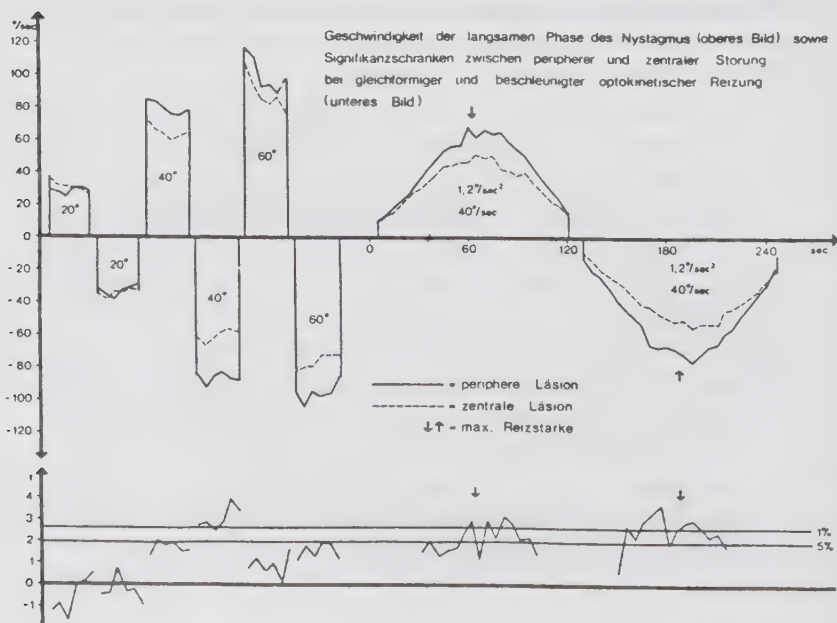


Abb. 19

Da die Kurven bei Normalbefund und peripherer Störung bis auf wenige Stellen annähernd parallel verlaufen (vgl. Abb. 15, S. 32), stellt sich die Frage, ob sich die Gruppen P und Z an den gleichen Stellen signifikant bzw. hochsignifikant unterscheiden wie die Gruppen N und Z.

Von den drei Durchgängen mit gleichförmiger optokinetischer Reizung scheint der Durchgang mit der Reizgeschwindigkeit $40^{\circ}/\text{sec}$ in diesem Fall der aussagekräftigste zu sein. Während bei Rechtsdrehung der Unterschied zwischen beiden Gruppen kaum die 5%-Grenze erreicht, übersteigt er beim Drehrichtungswechsel nach links deutlich die 1%-Grenze und ist somit hochsignifikant. Beim folgenden Durchgang mit der Geschwindigkeit $60^{\circ}/\text{sec}$ bleiben dagegen in beiden Richtungen die t-Werte unterhalb der 5%-Schranke, es besteht kein signifikanter Unterschied.

Beim Durchgang mit beschleunigter optokinetischer Reizung zeigt sich wiederum ein deutlich signifikanter Unterschied, wenngleich bei Rechtsdrehung kurz nach bzw. bei Linksdrehung kurz vor dem Erreichen der Maximalgeschwindigkeit die t-Werte unterhalb die 5%-Schranke abfallen. Die höchste Signifikanz tritt, wie auch beim Vergleich zwischen den Gruppen N und Z, in der Beschleunigungsphase der Linksdrehung auf.

c) Analyse der Seitendifferenzen

Aus dem Kurvenverlauf der vier Untersuchungsreihen wird ersichtlich, daß die Geschwindigkeit der langsamen Phase des Rechtsnystagmus zumeist diejenige des Linksnystagmus übertrifft, wenigstens gilt dies für die Gruppen N und P. Um diesen Unterschied genauer zu analysieren, war es erforderlich, die relativen Seitendifferenzen innerhalb der einzelnen Gruppen zu bestimmen, sowie diese hinsichtlich signifikanter Unterschiede zwischen den Gruppen zu

überprüfen.

Folgende Differenzen wurden berechnet (Abb. 20):

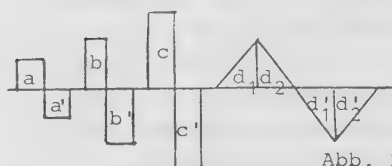


Abb. 20

$a - a'$, $b - b'$, $c - c'$

(jeweils von den Mittel- und Maximalwerten);

$d - d'$ (von den Summen- und Maximalwerten);

$d_1 - d_2$, $d_1' - d_2'$, $d_1 - d_1'$,

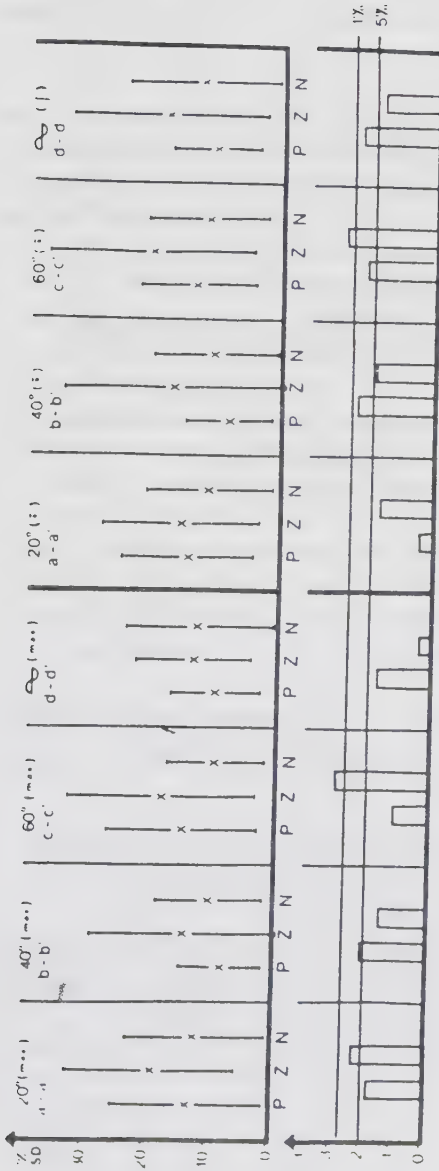
$d_2 - d_2'$ (nur von den Summenwerten).

Die Untergliederung der d-Kurve in d_1 , d_2 , d_1' und d_2' geschah, um besonders ausgeprägte Reizantwortschwächen in einem der Quadranten (auf- bzw. absteigender Schenkel) aufzudecken.

Mit Hilfe des t-Tests für unverbundene Stichproben wurden jeweils die Seitendifferenzen zwischen den Gruppen Z und N bzw. Z und P verglichen (Abb. 21 und 22).

In der linken Hälfte der Abbildung 21 sind die Seitendifferenzen der Maximalwerte jeder Gruppe dargestellt, die rechte Bildhälfte zeigt die Seitendifferenzen der Mittelwerte (für die Durchgänge mit gleichförmiger Reizung) bzw. der Summenwerte (für den Reiz mit Beschleunigung). Die Histogramme unter den Bildteilen enthalten die t-Werte der Unterschiede dieser Seitendifferenzen zwischen den Gruppen Z und P bzw. Z und N (je ein Säulenpaar) sowie die Signifikanzschranken für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% bzw. 1%.

Bei Betrachtung der Seitendifferenzen fällt auf, daß stets die Gruppe Z die absolut größten Differenzen aufweist. Trotz der hohen Standardabweichungen, die in die Berechnung der t-Werte miteingehen, zeigen sich deutliche Unterschiede in der Signifikanz. Sowohl beim Vergleich



Mittelwerte und Standardabweichungen der Seitendifferenzen zwischen Rechts- und Linksdrehung innerhalb der drei untersuchten Gruppen

P = peripher
Z = zentral
N = normal

Abb. 21

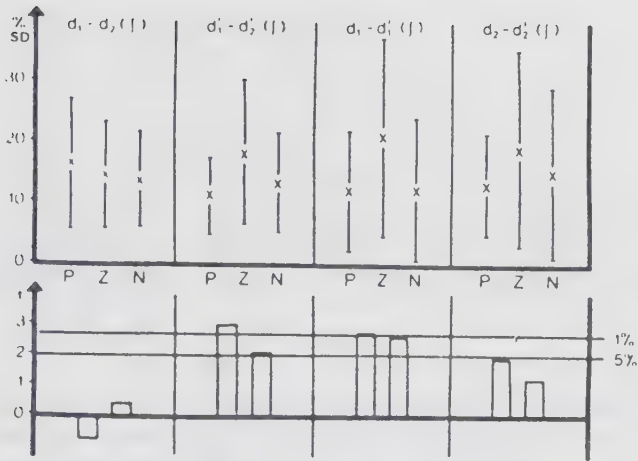
der Maximalwerte als auch der Mittelwerte lassen die Seitendifferenzen der Gruppen Z und N bei der Reizgeschwindigkeit von $60^\circ/\text{sec}$ einen hochsignifikanten Unterschied erkennen.

Ein höherer Aussagewert darf im allgemeinen den auf den Mittelwerten basierenden Berechnungen zugrundegelegt werden. Daher kann man annehmen, daß auch zwischen den Gruppen P und Z ein signifikanter Unterschied der Seitendifferenzen bei der Reizgeschwindigkeit $60^\circ/\text{sec}$ besteht. Bei gleichförmiger optokinetischer Reizung mit $60^\circ/\text{sec}$ resultiert somit für die Gruppe Z eine signifikant bzw. hochsignifikant größere Seitendifferenz im Vergleich zu den Gruppen N und P. Auch bei der Reizgeschwindigkeit von $40^\circ/\text{sec}$ zeigen die Gruppen Z und P einen signifikanten Unterschied ihrer Seitendifferenzen; beim Vergleich der Gruppen Z und N bleibt der t-Wert jedoch knapp unterhalb der 5%-Schranke. Eine ähnliche Konstellation ist beim Vergleich der Summenwerte der Seitendifferenz $d - d'$ anzutreffen; einem signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen P und Z steht ein nicht signifikanter zwischen den Gruppen N und Z gegenüber.

Vergleicht man die relativen Differenzen der d -Quadranten (Abb. 22, S. 43), kommt nur den Differenzen $d'_1 - d'_2$ und $d_1 - d'_1$ Bedeutung zu.

In beiden Fällen ergeben sich zwischen den Gruppen P und Z hochsignifikante, zwischen den Gruppen N und Z lediglich signifikante Unterschiede.

Dies kann auf eine besondere Bedeutung des Teilstücks d'_1 hindeuten, das die Phase der ansteigenden Geschwindigkeit nach dem Reizrichtungswechsel darstellt.



Signifikanzschranken der Unterschiede dieser
Differenzen zwischen den Gruppen Z - P und
Z - N

P = peripher
Z = zentral
N = normal

Abb. 22

d) Korrelation zwischen Reizstärke und Reizantwort

Bei Verdopplung der Reizgeschwindigkeit war zu erwarten, daß sich die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase ebenso verdoppeln würde. Beispielsweise sollte die Geschwindigkeit der langsamen Phase bei der Reizgeschwindigkeit von $40^\circ/\text{sec}$ doppelt so hoch sein wie diejenige bei der Reizgeschwindigkeit von $20^\circ/\text{sec}$.

Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden die relativen Differenzen $2a - b$, $2a' - b'$, $3a - c$ und $3a' - c'$ gebildet (Abb. 23).

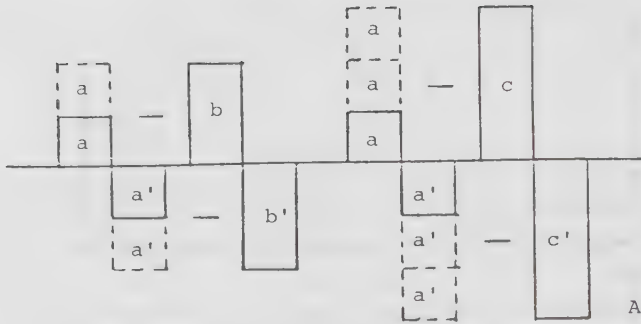


Abb. 23

Im Idealfall sollten keine Differenzen bestehen. Eine negative relative Differenz würde bedeuten: der zweite Wert liegt höher, d.h. eine Verdopplung der Reizgeschwindigkeit bewirkt mehr als eine Verdopplung der Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase.

Die Abbildungen 24 bis 27 (S. 44 bis 47) zeigen diese Differenzen in Form von Histogrammen; der Pfeil deutet jeweils auf den Ort des Mittelwerts.

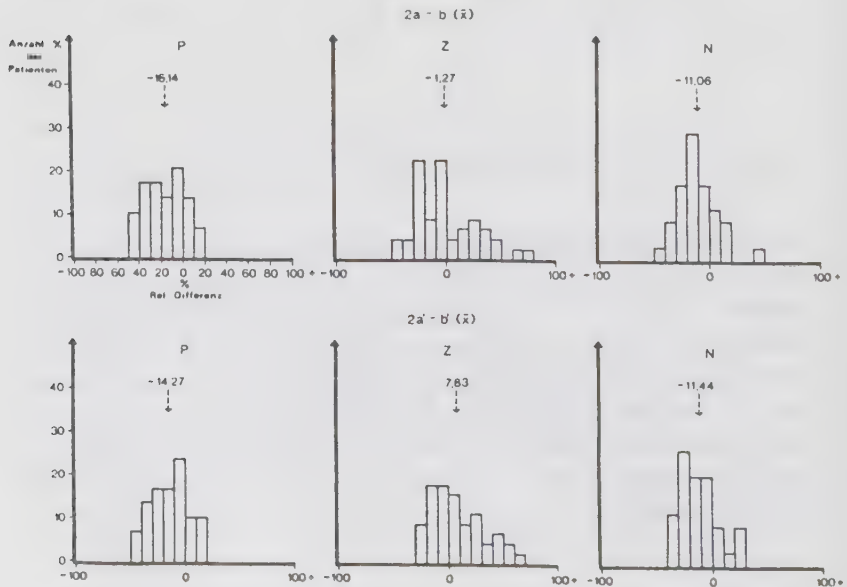
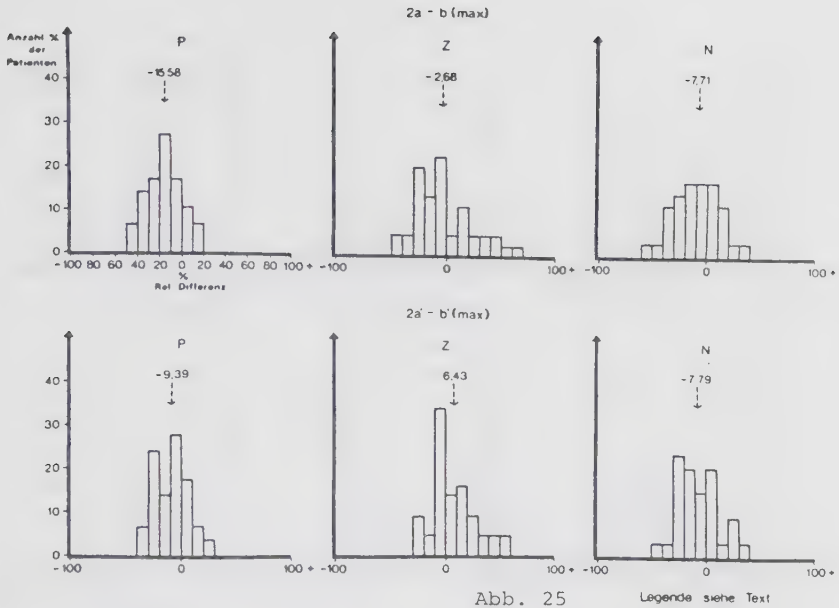


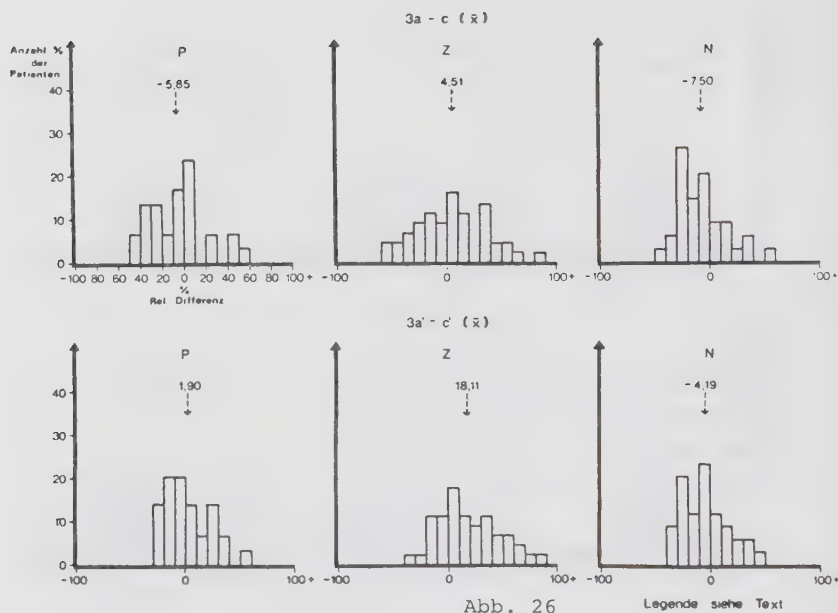
Abb. 24

Legende siehe Text



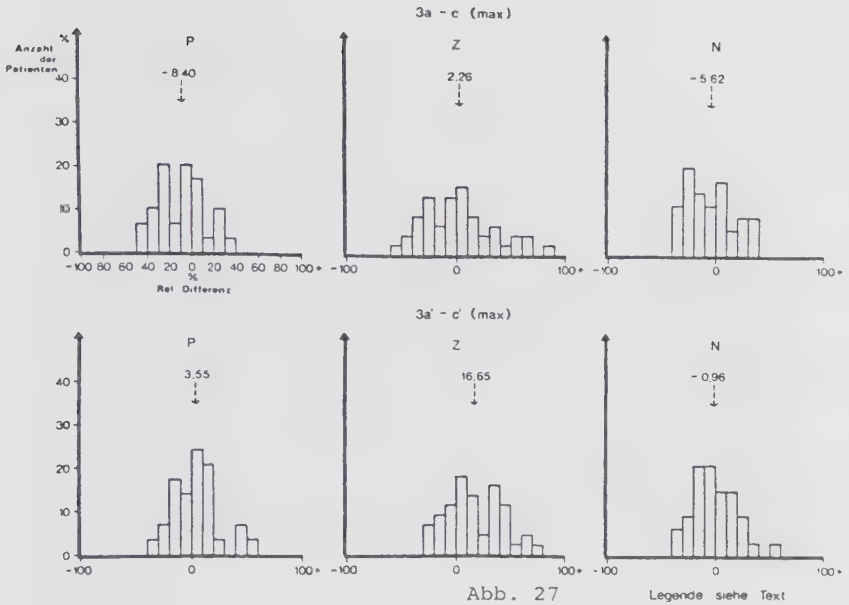
Beim Vergleich der Mittelwerte der Differenzen (Abb. 24) fällt auf, daß bezüglich der Differenzen $2a - b$ und $2a' - b'$ sowohl Normalpersonen als auch Patienten mit peripherer Gleichgewichtsstörung überproportional stark auf eine Verdopplung der Reizgeschwindigkeit reagieren. Die Gruppe der Patienten mit zentraler Gleichgewichtsstörung wechselt dagegen von einer geringgradig überproportionalen Reizantwort beim Linksnystagmus zu einer eindeutig unterproportionalen Reizantwort beim Rechtsnystagmus. Das bedeutet, daß diese Patienten einer Verdopplung der Reizgeschwindigkeit des nach links gerichteten Reizes von $20^\circ/\text{sec}$ auf $40^\circ/\text{sec}$ nicht adäquat folgen können.

Dasselbe Phänomen tritt auf bei Erhöhung der Reizgeschwindigkeit um das Dreifache auf $60^\circ/\text{sec}$ (Abb. 26).



Eine bereits unterproportionale Reizantwort der Gruppe Z bei Linksnystagmus wird bei Richtungswechsel des opto-kinetischen Reizes von einem weiteren Abfallen der Nystagmusgeschwindigkeit gefolgt, was sich in einer deutlich positiven Differenz $3a' - c'$ äußert. Die Gruppe N behält bei dieser Reizgeschwindigkeit eine leichte überproportionale Reizantwort in beiden Richtungen, während die Gruppe P nach dem Richtungswechsel knapp unter die hypothetische zu erwartende Reizantwort von $c' = 3a'$ absinkt.

Dieser auffallende Befund ergibt sich nicht nur bei der Berechnung der Mittelwerte aus den einzelnen Kurven (Abb. 26), sondern auch bei der Berechnung der Maximalwerte der Reaktion (Abb. 27).



Zusammenfassend lassen sich beim statistischen Vergleich dieser Differenzen zwischen den Gruppen Z und N bzw. Z und P signifikante und hochsignifikante Unterschiede feststellen (Tab. 2).

	$2a' - b'$ ($\bar{x}$)	$2a' - b'$ (max)	$3a' - c'$ ($\bar{x}$)	$3a' - c'$ (max)
t (Z-P)	4,24	3,46	2,63	2,34
t (Z-N)	3,90	3,22	3,82	3,33



signifikanter Unterschied

hochsignifikanter Unterschied

Tab. 2

Die Signifikanzschranken für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% bzw. 1% liegen bei den t-Werten 1,99 bzw. 2,64. Bezüglich der relativen Differenzen bei Rechtsdrehung des optokinetischen Reizes, 2a - b und 3a - c (Mittel- und Maximalwerte), ergibt sich kein signifikanter Unterschied; diese Werte sind daher in Tabelle 2 nicht aufgeführt. Als signifikante Differenz ist hingegen 3a' - c' (Mittel- und Maximalwerte) beim Vergleich der Gruppen Z und P zu nennen. Alle anderen Differenzen, die aus den Durchgängen mit Linksdrehung des optokinetischen Reizes gebildet wurden, unterscheiden sich sogar hochsignifikant: 2a' - b' (Mittel- und Maximalwerte) beim Vergleich der Gruppen Z und P sowie Z und N, 3a' - c' (Mittel- und Maximalwerte) beim Vergleich der Gruppen Z und N.

Der Vergleich der Nystagmusgeschwindigkeiten bei Recht-nystagmus erbringt folglich die höchsten Signifikanzwerte.

C. Diskussion

I. Erläuterung der Ergebnisse

a) Problematik des optokinetischen Nachnystagmus

Bei der Auswertung der vier Untersuchungsgänge fiel zumindest bei der Gruppe der Normalpersonen ein konstantes Überwiegen des Rechtsnystagmus auf; die Geschwindigkeit der langsamen Phase nahm bei gleichbleibender Reizgeschwindigkeit jeweils nach dem Reizrichtungswechsel zu. Wahrscheinlich ist dieser Unterschied der Reizantwort auf das von mehreren Autoren beschriebene Phänomen des optokinetischen Nachnystagmus zurückzuführen.

Ähnlich dem nach vestibulärer Reizung auftretenden postrotatorischen Nystagmus (vgl. HONRUBIA, KATZ, STRELIOFF und WARD¹⁹) tritt bei plötzlicher Beendigung eines optokinetischen Reizes ein Nachnystagmus auf, der zunächst in Richtung des vorausgegangenen optokinetischen Nystagmus schlägt, nach einigen Sekunden aber eine Schlagrichtungsumkehr erfahren kann.

BRANDT und DICHGANS⁴ vermuten als Erklärung für den optokinetischen Nachnystagmus eine extrapyramidal-motorische Bewegungsschablone, die durch optokinetischen Reiz im polysynaptischen retikulären supranukleären Regulationssystem der Brückenhaube aktiviert wird. Die Dauer dieses Nachnystagmus sei starken inter- und intraindividuellen Schwankungen unterworfen; eine Bahnung durch erhöhte Vigilanz wird beschrieben.

In einer späteren Untersuchung beobachteten BRANDT, DICHGANS und BUCHELE⁵ positive Nacheffekte vor allem bei Reizdauer bis zu einer Minute, einen negativen Nachnystag-

mus jedoch vorwiegend bei längerer Reizdauer. Diese negativen Nacheffekte werden als zentrale Gegenregulation im Sinne einer Bewegungs - Habituation gedeutet.

Nur teilweise können diese Beobachtungen zu einer Erklärung der in der vorliegenden Untersuchung aufgetretenen Zunahme des Rechtsnystagmus herangezogen werden. Die plötzliche Beendigung eines optokinetischen Reizes kann zusammen mit einem unmittelbar folgenden Reizrichtungswechsel, der zudem eine erhöhte Wachsamkeit fordert, eine verstärkte zentrale Gegenregulation auslösen. Allerdings betrug die Dauer der gleichförmigen Reizung nur jeweils 30 Sekunden, was nach BRANDT, DICHGANS und BÜCHELE⁵ eher positive Nacheffekte hervorrufen sollte. Wegen der großen inter- und intraindividuellen Schwankungsbreite kann die Frage des optokinetischen Nachnystagmus hier nicht schlüssig beantwortet werden. Die Untersuchung war nicht daraufhin ausgerichtet, die Existenz bzw. das Ausmaß eines optokinetischen Nachnystagmus zu bestimmen. Da aber bei allen Probanden stets dieselbe Reihenfolge der Drehrichtung der Streifentrommel eingehalten wurde (Rechtsdrehung vor Linksdrehung), konnte das bei den Normalpersonen gefundene Überwiegen des Rechtsnystagmus als physiologische Bezugsgröße genommen werden. Relativ dazu ist damit sehr wohl eine Beurteilung des Nystagmus bei den Patienten mit zentraler und peripherer vestibulärer Störung möglich.

b) Optokinetischer Nystagmus bei gleichförmiger Reizung

Bei Betrachtung der Mittel- und Maximalwerte bei gleichförmiger optokinetischer Reizung (Abb. 16 und 17, S. 33

und 34) fällt tatsächlich auf, daß die Patienten mit zentraler Gleichgewichtsstörung bei den Reizgeschwindigkeiten 40 und 60°/sec eine deutliche Verminderung des Rechtsnystagmus im Vergleich zum Linksnystagmus zeigen. Die Gruppen N und P weisen dagegen erst bei der höchsten Reizgeschwindigkeit eine geringfügige Reduktion des Nystagmus nach dem Reizrichtungswechsel auf. Daher ist es nicht verwunderlich, daß beim Vergleich der Gruppen N und Z hochsignifikante Unterschiede jeweils während der Durchgänge b' und c' auftreten (vgl. Abb. 18, S. 37).

In Übereinstimmung damit unterscheiden sich die drei Gruppen bezüglich ihrer Seitendifferenzen am deutlichsten bei der Reizgeschwindigkeit 60°/sec (vgl. Abb. 21, S. 40, Seitendifferenz der Mittelwerte).

Trotz der weitgehend unbekannten Mechanismen der Gleichgewichtsregulation darf ein Unvermögen zentral-vestibulär geschädigter Patienten angenommen werden, zum einen einer vorgegebenen höheren Reizgeschwindigkeit folgen und zum anderen die für den negativen Nachnystagmus notwendigen zentralen Schaltungsvorgänge leisten zu können.

c) Optokinetischer Nystagmus bei beschleunigter Reizung

Anders stellen sich die Verhältnisse bei beschleunigter optokinetischer Reizung dar. Die erreichte Maximalgeschwindigkeit des Rechtsnystagmus übertrifft in allen drei Gruppen geringfügig diejenige des Linksnystagmus (vgl. Abb. 17, S. 34), bleibt aber jeweils unter der bei gleichförmiger Reizung mit 40°/sec erbrachten durchschnittlichen Geschwindigkeit der langsamen Phase.

Dies läßt sich unter zwei Gesichtspunkten betrachten.

Erstens wird durch den gleitenden Übergang in die entgegengesetzte Reizrichtung ein abrupter Richtungswechsel vermieden und damit die Provokation negativer Nacheffekte eher gedämpft. Zum zweiten stellt der Beschleunigungsreiz für Patienten mit zentraler Läsion offensichtlich ein stark erschwerendes Moment dar, sie fallen deutlich von den Reizantwortkurven der Gruppen N und P ab (vgl. Abb. 15, S. 32).

Sowohl beim Vergleich der Gruppen N und Z als auch, weniger ausgeprägt, der Gruppen P und Z ist auf die hochsignifikanten Unterschiede im absteigenden Teil des Linksnystagmus (Quadrant d_2) und vor allem im ansteigenden Teil des Rechtsnystagmus (Quadrant d'_1) hinzuweisen (Abb. 18 und 19, S. 37 und 38).

Gerade am Beispiel der beschleunigten optokinetischen Reizung wird ersichtlich, daß bei Patienten mit zentral-vestibulärer Störung die Flexibilität bezüglich einer adäquaten Folgung und das zentrale Regulationsvermögen einer erheblichen Einschränkung unterworfen sind.

II. Faktoren, welche die Untersuchung beeinflussen

a) Wachheit und Aufmerksamkeit

Im Gegensatz zur vestibulären Gleichgewichtsprüfung, die allein vom Wachheitszustand des Probanden beeinflusst wird, ist die Prüfung des optokinetischen Nystagmus sowohl von der Wachheit als auch von der Aufmerksamkeit des Probanden abhängig (KORNHUBER²⁶).

DICHGANS und JUNG⁹ fanden bei optimaler Aufmerksamkeit eine adäquate Folgung der langsamen Nystagmusphase bei Reizgeschwindigkeiten um 50 bis 90°/sec.

Versuche von WATANABE, IGARASHI und WRIGHT⁴³ über die optisch-vestibuläre Koordination beim Totenkopffaffen zeigen eine signifikante Steigerung der Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase nach Applikation von Metamphetamin. Dies läßt sich durch einen aktivierenden Einfluß des Medikaments auf die Formatio reticularis des Hirnstamms erklären.

Aus Untersuchungen von GARDNER und WEITZMAN¹³ geht hervor, daß das Maß der Auslösbarkeit des optokinetischen Nystagmus eng mit dem Schlaf-Wach-Rhythmus verbunden zu sein scheint.

TIBBLING³⁸ verneint einen Einfluß des Rauchens auf die Geschwindigkeit der langsamen Phase des optokinetisch und vestibulär ausgelösten Nystagmus, wohingegen Amplitude und Dauer des Nystagmus verlängert würden.

Inwieweit die Faktoren Wachheit und Aufmerksamkeit für die vorliegende Untersuchung von Bedeutung waren, kann nur näherungsweise eingeschätzt werden. Zwar fanden sämtliche optokinetische Untersuchungen am Vormittag statt, allerdings waren die Patienten teilweise durch längeres Warten oder durch vorausgegangene Untersuchungen oder allein durch die Art ihrer Beschwerden nicht optimal konzentrationsfähig. Um diesen Mangel auszugleichen, wurde auf eingehende Instruktion und geistige Aktivierung der Probanden besonderes Gewicht gelegt. Ein geringer Ermüdungseffekt muß bei einer durchschnittlichen Gesamtdauer der Untersuchung von 20 Minuten naturgemäß in Betracht gezogen werden.

b) Lebensalter

Den Einfluß des Lebensalters auf den optokinetischen Nystagmus hat TIBBLING³⁸ überprüft. Bei jüngeren Probanden fand er zumeist eine geringe Differenz zwischen Reizgeschwindigkeit und Geschwindigkeit der langsamen Phase, die sich mit höherem Alter leicht vergrößerte. HADIJ-DJILANI¹⁵ stellte Untersuchungen an über den optokinetischen Nystagmus des Kindesalters. Ein Vergleich von vier Altersgruppen zwischen 4 und 16 Jahren und einer Erwachsenengruppe zwischen 20 und 35 Jahren ergab eine nahezu konstante Geschwindigkeit der langsamen Phase in allen Altersstufen.

Die Altersverteilung der Probanden in der vorliegenden Untersuchung wurde bereits an früherer Stelle (Tab. 1, S. 27) gegeben. Die prozentuale Verteilung ergibt aus der folgenden Darstellung (Tab. 3).

Alter	Summe der Probanden	Gruppe N n = 34	Gruppe P n = 29	Gruppe Z n = 44
bis 20 J.	6,5%	5,9%	10,4%	4,5%
21 - 40 J.	32,7%	41,2%	24,1%	31,8%
41 - 60 J.	46,7%	44,1%	62,1%	38,6%
über 60 J.	14,0%	8,8%	3,4%	25,0%
Summe	100 %	100 %	100 %	100 %

Tab. 3

c) Optokinetische Habituation

Eingehende Kenntnisse liegen über das Phänomen der vestibulären und optokinetischen Habituation vor. MIYOSHI und PFALTZ²⁸ bezeichnen die optokinetische Habituation als Ergebnis eines positiven Lernprozesses, da im Gegensatz zur üblichen Definition der Habituation keine Abnahme, sondern eine Zunahme der Reizantwort erfolgt. Dabei wird sowohl eine Retention der Reizantwortverbesserung als auch, bei monokularer Reizung, ein Transfer vom optokinetisch stimulierten zum abgedeckten Auge beobachtet. Eine durch mehrmalige optokinetische Reizung erzielte Habituation beeinflusst jedoch nicht die Reizantworten bei thermischen, galvanischen oder vestibulospinalen Gleichgewichtsprüfungen.

In einer Untersuchungsreihe über zehn Tage mit verschiedenen gleichförmigen Reizgeschwindigkeiten von 15 bis 120°/sec unter Weitwinkel- und Engwinkelstimulation fanden MIYOSHI, PFALTZ und PIFFKO³² eine deutlichere Ausprägung der optokinetischen Habituation bei Probanden, die einer Weitwinkelstimulation unterzogen worden waren.

Einen unterstützenden Effekt auf die vestibuläre Habituation schreiben PFALTZ und KATO³³ einer vorausgehenden optokinetischen Stimulation zu, wobei aber die vestibuläre Habituation im Gegensatz zur optokinetischen durch eine Abnahme der Reizantwort gekennzeichnet ist. Einer anfänglichen Zunahme von Amplitude und Geschwindigkeit der langsamen Phase folgte in ihrer Untersuchung nach zehntägiger Trainingsdauer eine signifikante Verringerung dieser Parameter gegenüber einer nur vestibulären Reiz ausgesetzten Kontrollgruppe. Die Nystagmus-

frequenz blieb in beiden Gruppen gleich.

Eine Erklärung dieses Phänomens kann bislang nur hypothetischer Natur sein.

Nach KORNHUBER²⁶ gibt es keine Interferenz von optokinetischem und vestibulärem Nystagmus, sondern stets eine Summation. Demnach könnte in der Art eines Konditionierungseffekts ein mehrmals vorausgehender optokinetischer Reiz für die Bahnung der vestibulären Habituation verantwortlich sein.

Von Propriozeptoren der tiefen Nackenmuskulatur scheint ein fördernder Einfluß auf die optokinetische Habituation auszugehen. HINOKI, TERAYAMA und KASHIWABARA¹⁶ fanden am Kaninchen eine Zunahme der Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase und gleichgerichteter Kopfbewegungen nach wiederholtem optokinetischem Training. Inaktivierung der tiefen Nackenmuskulatur war von einem weitaus geringeren Trainingseffekt gefolgt.

Ein Einfluß durch Habituation auf die vorliegende Untersuchung kann mit weitgehender Sicherheit ausgeschlossen werden. Nahezu alle Patienten wurden zum ersten Mal einer optokinetischen Untersuchung unterzogen, bei sehr wenigen lag eine frühere Untersuchung mehrere Wochen bis Monate zurück.

III. Bedeutung der optokinetischen Gleichgewichtsprüfung für die Diagnose zentraler und peripherer vestibulärer Störungen

a) Aussagekraft der einzelnen Untersuchungsgänge

1. Gleichförmige Reizung mit $20^{\circ}/\text{sec}$

Bei niedriger Reizgeschwindigkeit ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Patientengruppen (vgl. Abb. 15, S. 32).

2. Gleichförmige Reizung mit $40^{\circ}/\text{sec}$

Die Kurvenverläufe zeigen bereits eine auseinanderweichende Tendenz: Während die Normalpersonen und die Patienten mit peripherer Gleichgewichtsstörung noch nahezu gleiche Reizantwortkurven aufweisen, unterscheiden sich die Patienten mit zentraler Störung signifikant bzw. hochsignifikant von diesen beiden Gruppen (vgl. Abb. 18 und 19, S. 37 und 38). Der hochsignifikante Unterschied zwischen den Gruppen N und Z bzw. P und Z kommt vor allem dadurch zustande, daß die Gruppe der Patienten mit zentraler Störung in der Phase nach dem Reizrichtungswechsel ein deutlich beeinträchtigtes Folgeverhalten zeigt.

3. Gleichförmige Reizung mit $60^{\circ}/\text{sec}$

Die Untersuchung mit hoher Reizgeschwindigkeit ruft eine ausgeprägte Dreigliederung der Antwortkurven hervor. Signifikant und hochsignifikant unterscheiden sich

aber nur die Gruppen N und Z, während die Gruppen P und Z nicht einmal signifikante Unterschiede aufweisen. Dies bedeutet, daß bei Patienten mit peripherer Gleichgewichtsstörung klinisch stumme zentrale Defekte zusätzlich vorhanden sein können und erst bei hoher Reizgeschwindigkeit ihre Wirkung zeigen. Die Methode der optokinetischen Untersuchung ist statistisch so genau, daß damit bei Patienten mit klinisch diagnostiziertem peripheren Schaden ein zusätzlicher zentraler Schaden festgestellt werden kann. Für die Diagnose der rein peripheren Störung ist die optokinetische Prüfung jedoch nicht geeignet; hier sind andere Untersuchungsmethoden, vor allem die thermische Prüfung, von weitaus höherem diagnostischem Wert.

4. Beschleunigte Reizung mit $1,2^{\circ}/\text{sec}^2$ bis $40^{\circ}/\text{sec}$

Eine eindeutige Aussage über die Diagnose einer zentralen Gleichgewichtsstörung wird durch die Untersuchung mit Reizbeschleunigung ermöglicht. Patienten mit peripherer Störung und Normalpersonen zeigen ein nahezu identisches Folgeverhalten über dem gesamten Antwortkurvenverlauf. Davon unterscheiden sich signifikant und hochsignifikant die Patienten mit zentraler Störung. Deren Folgeverhalten ist vor allem im absteigenden Teil des Linksnystagmus (Quadrant d_2) und noch mehr im ansteigenden Teil des Rechtsnystagmus (Quadrant d'_1) beeinträchtigt. Diesen beiden Quadranten darf somit die höchste Aussagekraft für die Diagnose einer zentralen Gleichgewichtsstörung zugesprochen werden.

b) Allgemeine Vor- und Nachteile der optokinetischen Prüfung

1. Vorteile

Die optokinetische Prüfung ist eine wenig belastende und nicht invasive Untersuchung. Ihre Aussagekraft hinsichtlich der Diagnose einer zentralen Gleichgewichtsstörung ist von hohem Stellenwert. Daher ist die optokinetische Prüfung im Rahmen eines größeren neuro-otologischen Untersuchungsprogramms unentbehrlich. Gerade als Erstuntersuchung oder als Kontrolluntersuchung bei verschiedenen Affektionen des Gleichgewichtssystems gewinnt sie zunehmend an Bedeutung. Unter Berücksichtigung der für die optokinetische Habituation verantwortlichen Faktoren kann sie in sinnvollen Abständen nahezu beliebig oft durchgeführt werden. Zudem ist die Untersuchung mit keinerlei Risiken für den Patienten behaftet; einzige Unannehmlichkeit ist ein des Öfteren auftretendes Schwindelgefühl, das sich in seltenen Fällen bis zur Übelkeit steigern kann.

2. Nachteile

Von nicht ganz geringem Nachteil ist der Aufwand, den die optokinetische Prüfung fordert. Die bei der Untersuchung erhaltenen Nystagmuskurven müssen erst mittels eines Winkelmeßgeräts und des damit verbundenen Rechengeräts analysiert werden, bevor sie endgültig ausgewertet werden können.

Ferner hängt die Durchführbarkeit der Prüfung vom jeweiligen Gesundheitszustand des Probanden ab. Er muß

ansprechbar sein, die Instruktionen verstehen sowie genügend wach und aufmerksam und zur Mitarbeit bereit sein. Nach Alkohol- oder Drogengenuß oder nach einer schlaflosen Nacht kann die optokinetische Prüfung nicht in sinnvoller Weise durchgeführt werden. Auch Probanden mit schwerer Sehinderung müssen von der optokinetischen Untersuchung ausgeschlossen werden.

c) Tendenzen zur Weiterentwicklung der optokinetischen Prüfung

1. Beantwortung ungelöster Probleme

Das in der vorliegenden Untersuchung beschriebene Phänomen der Antwortverstärkung nach Reizrichtungswechsel bei gleichförmiger Reizgeschwindigkeit bedarf weiterer Abklärung. Am besten eignete sich hierfür eine Untersuchungsreihe mit gesunden Probanden, die jeweils mehrere Untersuchungsgänge ohne und mit verschiedenen langen Pausen während des Reizrichtungswechsels absolvierten. Auf diese Weise ließe sich auch die Länge der Pausen bestimmen, die notwendig ist, um den Einfluß einer vorhergehenden optokinetischen Untersuchung auf die folgende zu verhindern.

2. Erstellung eines Untersuchungsmodells mit höchster Aussagekraft

Die optokinetische Prüfung mit linearer Reizbeschleunigung ist nach der vorliegenden Untersuchung von hoher Aussagekraft bezüglich der Diagnose zentraler Gleichgewichtsstörungen. Es gibt sicherlich zahlreiche Möglichkeiten, diese Prüfung noch weiter zu erschweren, beispielsweise durch eine sinusförmige Reizbeschleunigung oder durch sprunghafte Änderungen der Reizgeschwin-

digkeit. Das Problem liegt darin, ein Untersuchungsmodell zu erstellen, das bei Normalpersonen noch eine adäquate Reizantwort auslöst, während Patienten mit einer Störung des Gleichgewichtssystems in höchstem Maße pathologisch reagieren. Die Erprobung derartiger Modelle bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten.

D. Zusammenfassung

44 Patienten mit zentraler und 29 Patienten mit peripherer vestibulärer Störung sowie 34 Normalpersonen wurden einer optokinetischen Prüfung unterzogen. Die Untersuchung bestand aus vier Einzelteilen; verwendet wurden die gleichförmigen Reizgeschwindigkeiten 20, 40 und 60°/sec und eine geradlinige Beschleunigung von 1,2°/sec² mit der Maximalgeschwindigkeit 40°/sec.

Als Parameter der Reizantwort wurde die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase gewählt.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte in dreifacher Hinsicht:

1. Beim Vergleich der absoluten Stärke des optokinetischen Nystagmus von Normalpersonen und Patienten mit zentraler Störung fanden sich bei gleichförmiger Reizung mit 40 und 60°/sec signifikante Unterschiede bei Rechtsdrehung der optokinetischen Trommel; nach abruptem Reizrichtungswechsel traten jeweils hochsignifikante Unterschiede auf. Die Patienten mit peripherer und die Patienten mit zentraler Störung unterschieden sich hochsignifikant nur bei Reizung mit 40°/sec nach dem Reizrichtungswechsel.

Bei beschleunigter Reizung zeigten sich zwischen den Normalpersonen und den Patienten mit zentraler Störung sowie zwischen den Patienten mit peripherer und denjenigen mit zentraler Störung hochsignifikante Unterschiede in der Verlangsamungsphase der Rechtsdrehung und vor allem in der Beschleunigungsphase der Linksdrehung der Streifentrommel. Am deutlichsten ausgeprägt war dieser Unterschied zwischen der Gruppe der Normalpersonen und der Gruppe der Patienten mit zentraler vestibulärer Störung.

2. Die Analyse der Seitendifferenzen innerhalb jeder Gruppe ergab im wesentlichen signifikante bzw. hochsignifikante Unterschiede zwischen den Normalpersonen und den Patienten mit zentraler Störung einerseits sowie zwischen den Patienten mit peripherer und denjenigen mit zentraler Störung andererseits bei den Reizgeschwindigkeiten 40 und 60°/sec.

Entsprechende Vergleiche wurden mit den relativen Differenzen einzelner Abschnitte der beschleunigten Reizung angestellt. Die Gruppe der Patienten mit zentraler Störung unterschied sich deutlich signifikant von den beiden anderen Gruppen im auf- und absteigenden Teil des Rechtsnystagmus sowie in den jeweils ansteigenden Teilen von Links- und Rechtsnystagmus.

3. Das Verhältnis von Reizstärke zu Reizantwort (Reizgeschwindigkeit zu Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase) wurde in Form von Histogrammen dargestellt. Eine Verdopplung bzw. Verdreifachung der Reizgeschwindigkeit, ausgehend von 20°/sec, bewirkte bei den Normalpersonen durchwegs eine überproportionale Reizantwort. Ein ähnliches Ergebnis zeigten die Patienten mit peripherer Störung; lediglich im Rechtsnystagmus bei dreifacher Reizgeschwindigkeit trat eine minimal unterproportionale Reizantwort auf. Die Patienten mit zentraler Störung reagierten dagegen bereits auf eine Verdopplung der Reizgeschwindigkeit bei Linksdrehung deutlich unterproportional und auf eine Verdreifachung sogar in beiden Reizrichtungen.

Verschiedene Einflußfaktoren auf die Durchführbarkeit und Aussagekraft der optokinetischen Prüfung wurden diskutiert.

E. Schrifttum

- 1) BALOH, R. W.; V. HONRUBIA; A. SILLS: Eye-Tracking and Optokinetic Nystagmus, Results of Quantitative Testing in Patients with well-defined Nervous System Lesions. Ann. Otol. 86 (1977), 108 - 114.
- 2) BENITEZ, J. T.: Eye-Tracking and Optokinetic Tests: Diagnostic Significance in Peripheral and Central Vestibular Disorders. The Laryngoscope (1970), 834 - 848.
- 3) BOENNINGHAUS, H.-G.: Hals - Nasen - Ohrenheilkunde für Medizinstudenten. Springer-Verlag Berlin - Heidelberg - New York (1977), 4., überarbeitete Auflage.
- 4) BRANDT, Th.; J. DICHGANS: Circularvektion, optische Pseudocoriolis-Effekte und optokinetischer Nachnystagmus. Albrecht v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. 184 (1972), 42 - 57.
- 5) BRANDT, Th.; J. DICHGANS; W. BÜCHELE: Motion Habituation: Inverted Self-Motion Perception and Optokinetic After-Nystagmus. Exp. Brain Res. 21 (1974), 337 - 352.
- 6) BRANDT, Th.; J. DICHGANS; E. KOENIG: Differential Effects of Central versus Peripheral Vision on Ego-centric and Exocentric Motion Perception. Exp. Brain Res. 16 (1973), 476 - 491.
- 7) COATS, A. C.: Central and Peripheral Optokinetic Asymmetry. Annals of ORL 77 (1968), 938 - 948.
- 8) COLLEWIJN, H.: Impairment of Optokinetic (After-) Nystagmus by Labyrinthectomy in the Rabbit. Exp. Neurology 52 (1976), 146 - 156.
- 9) DICHGANS, J.; R. JUNG: Attention, Eye Motion and Motion Detection: Facilitation and Selection in Optokinetic Nystagmus and Railway Nystagmus. Attention in Neurophysiology, C. R. Evans and T. B. Mulholland ed. (1969), 348 - 375.

- 10) DICHGANS, J.; B. KOLB; E. WOLPERT: Provokation opto-kinetischer Seitendifferenzen durch Einschränkung der Reizfelddbreite und ihre Bedeutung für die Klinik. Arch. Psychiatr. Nervenkr. 219 (1974), 117 - 131.
- 11) DIX, M. R.; J. D. HOOD: Further Observations upon the Neurological Mechanism of Optokinetic Nystagmus. Acta Otolaryng. 71 (1971), 217 - 226.
- 12) FLUUR, E.: Oculomotor Micro-Oscillations and the Speed of the Slow Phase of Nystagmus. The Journal of Laryng. and Otol., Vol. LXXXIV No. 9 (1970).
- 13) GARDNER, R.; E. D. WEITZMAN: Examinations for Optokinetic Nystagmus in Sleep and Waking. Arch. Neurol. 16 (1967), 415 - 420.
- 14) GRETTY, M.; M. HALMAGYI: Following Eye Movements in the Absence of Central Vision. Acta Otolaryng. 87 (1979), 477 - 483.
- 15) HADIJ-DJILANI, A.: Le Nystagmus de Provocation Optocinétique chez l'Enfant: Etude de ses Paramètres sur un Groupe d'Enfants Normaux. Rev. Oto-Neuro-Ophth. 45 (1973), 367 - 374.
- 16) HINOKI, M.; K. TERAYAMA; S. KASHIWABARA: Role of Cervical Proprioceptors for Adaptation to Optic Stimulation. Equilibrium Res. Suppl. 2 (1971), 12 - 26.
- 17) HOLM-JENSEN, S.; E. PEITERSEN: The Significance of the Target Frequency and the Target Speed in Optokinetic Nystagmus. Acta Otolaryng. 88 (1979), 110 - 116.
- 18) HONRUBIA, V.; W. L. DOWNEY; D. P. MITCHELL; B. A. and P. H. WARD: Experimental Studies on Optokinetic Nystagmus, II. Normal Humans. Acta Otolaryng. 65 (1968), 441 - 448.
- 19) HONRUBIA, V.; R. D. KATZ; D. STRELIOFF; P. H. WARD: Computer Analysis of Induced Vestibular Nystagmus. Rotatory Stimulation of Normal Cats. Annals of Otol., Rhinol. and Laryng., Vol. 80 No. 6 Suppl. 3 (1971).

- 20) HONRUBIA, V.; H. JENKINS; P. H. WARD: Computer Analysis of Optokinetic Nystagmus in Normal and Pathological Cats. *Annals of Otol., Rhinol. and Laryng.*, Vol. 80 No. 6 Suppl. 3 (1971).
- 21) HOOD, J. D.: Observations upon the Neurological Mechanism of Optokinetic Nystagmus with Especial Reference to the Contribution of Peripheral Vision. *Acta Otolaryng.* 63 (1967), 208 - 215.
- 22) HOOD, J. D.: Observations upon the Role of the Peripheral Retina in the Execution of Eye Movements. *ORL* 37 (1975), 65 - 73.
- 23) IGARASHI, M.; H. MIYATA; Y. KATO; W. K. WRIGHT; J. K. LEVY: Optokinetic Nystagmus after Cerebellar Uvulonodectomy in Squirrel Monkeys. *Acta Otolaryng.* 80 (1975), 180 - 184.
- 24) JONGKEES, L. B. W.; W. J. OOSTERVELD: Sinusoidal Optokinetic Stimulation. The Use of a Subtractor for the Pendulum-Swing Test. *ORL* 35 (1973), 171 - 177.
- 25) KITAHARA, M.; T. FUTAKI: Visual Fixation Pattern in Optokinetic Nystagmus. *Equilibrium Res. Suppl* 2 (1971), 3 - 11.
- 26) KORNHUBER, H. H.: Physiologie und Klinik des zentral-vestibulären Systems (Blick- und Stützmotorik) - Kompensation und Ausgleich vestibulärer Defekte. In: J. Berendes, R. Link, F. Zöllner, Hals - Nasen - Ohrenheilkunde. Ein kurzgefaßtes Handbuch. Band III/3, Thieme-Verlag Stuttgart (1966).
- 27) MIYOSHI, T.; F. OHTA; K. NAKANO; T. HASHIGUCHI: Analysis of Optokinetic Nystagmus using Electronic Computer. *Pract. Otol. Kyoto* 63 (1970).
- 28) MIYOSHI, T.; C. R. PFALTZ: Studies on Optokinetic Habituation. *ORL* 34 (1972), 308 - 319.
- 29) MIYOSHI, T.; C. R. PFALTZ: Upon the Correlation between the Optokinetic Stimulus and the Induced Optokinetic Nystagmus, I. Influence of O.K. Targets. *ORL* 35 (1973), 52 - 64.

- 30) MIYOSHI, T.; C. R. PFALTZ: Studies on the Correlation between Optokinetic Stimulus and Induced Nystagmus, II. The Influence of the Visual Fields upon the Optokinetic Response. ORL 35 (1973), 350 - 362.
- 31) MIYOSHI, T.; C. R. PFALTZ: Studies on the Correlation between Optokinetic Stimulus and Induced Nystagmus, III. The Influence of Repetitive Narrow and Wide-Angle Stimuli upon Optokinetic Nystagmus and Vestibulospinal Function. ORL 36 (1974), 65 - 75.
- 32) MIYOSHI, T.; C. R. PFALTZ; P. PIFFKO: Effect of Repetitive Optokinetic Stimulation upon Optokinetic and Vestibular Responses. Acta Otolaryng. 75 (1973), 259 - 265.
- 33) PFALTZ, C. R.; J. KATO: Vestibular Habituation, Interaction of Visual and Vestibular Stimuli. Arch. Otolaryng. Vol. 100 (1974).
- 34) SCHERER, H.; W. E. MANG: Der Informationsverlust beim optokinetischen Test mit Reizbeschleunigung (SUZUKI-Test). Vortrag vor der Südwestdeutschen Gesellschaft der HNO-Ärzte. Salzburg (1977).
- 35) SMITH, J. L.; D. G. COGAN: Optokinetic Nystagmus: A Test for Parietal Lobe Lesions. Amer. J. Ophth. 48 (1959), 187 - 193.
- 36) SOBOTTA, J.; H. BECHER: Atlas der Anatomie des Menschen, Band 3. Zentralnervensystem, Autonomes Nervensystem, Sinnesorgane und Haut, Periphere Leitungsbahnen. Urban und Schwarzenberg (1973), 17., neu bearbeitete Auflage.
- 37) SUZUKI, J.-I.; A. KOMATSUZAKI: Clinical Application of Optokinetic Nystagmus, Optokinetic Pattern Test. Acta Otolaryng. 54 (1961), 49 - 55.
- 38) TIBBLING, L.: Observations on Central Mechanisms common to Vestibular and Optokinetic Nystagmus. Acta Otolaryng. 69 (1970), 434 - 442.
- 39) TOKITA, T.; T. SUZUKI; T. HIBI: Clinical Observations of Optokinetic Hypernystagmus. Equilibrium Res. Suppl.

2 (1971), 79 - 89.

- 40) TOROK, N.: Quantitative Parameters in Nystagmography, I. The Velocity of the Slow Phase. ORL 36 (1973), 37 - 45.
- 41) TOS, M.; J. ADSER; J. ROSBERG: Horizontal Optokinetic Nystagmus in Cerebral Diseases. Acta Oto-Neurol. Scandinav. 48 (1972), 607 - 620.
- 42) TOS, M.; J. ROSBERG; J. ADSER: Optokinetic Nystagmus in Acoustic Neuromas. Acta Otolaryng. 76 (1973), 239 - 243.
- 43) WATANABE, T.; M. IGARASHI; W. K. WRIGHT: Study of Optic Vestibular Coordination in the Squirrel Monkey. Equilibrium Res. Suppl. 1 (1971), 99 - 103.

LEBENS LAUF

Am 3. April 1955 wurde ich als zweites von zwei Kindern des Schreiners Andreas Lang und seiner Frau Karola, geb. Hartl, in Freising geboren.

Während meiner Schulzeit verbrachte ich vier Jahre an der Volksschule und neun Jahre am Domgymnasium Freising, dessen neusprachlichen Zweig ich besuchte. Im Herbst meines Abiturjahres 1974 begann ich mit dem Medizinstudium an der Universität München. Zur Förderung meines Studiums erhielt ich ein Stipendium nach dem Bayerischen Begabtenförderungsgesetz und wurde in die Studienstiftung des deutschen Volkes aufgenommen.

Im November 1980 beendete ich das Studium mit dem dritten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung.

Im April und Mai 1981 war ich als Ärztin am Alpensanatorium Bad Tölz tätig, seit dem 1. Juni 1981 arbeite ich am Städtischen Krankenhaus Pappenheimstraße München.

Am 27. Mai 1981 heiratete ich den Assessor Wolfgang Straub.

